

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO COMPARATIVO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
DE LABORATORIO Y PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC) EN LA
SUBRASANTE DE LA NUEVA VÍA DE EVITAMIENTO ALTERNA DE LA
CIUDAD DE CAJAMARCA”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
DILSER GÁLVEZ IDROGO**

ASESOR

Dra. Ing. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

CAJAMARCA - PERÚ

2021

AGRADECIMIENTO

A Papá Dios

Quien me guía en todo momento de mi Vida.

A la Universidad Nacional de Cajamarca

En especial a la Facultad de Ingeniería y a todos los amigos y docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por brindarme conocimientos y herramientas para mi formación académica.

A mi Asesor de Tesis

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón por su gran apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

A los Ingenieros

José Lezama Leiva y Carlos Lezama Mendieta por compartir su amistad, conocimientos y por el gran apoyo brindado.

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis Padres Anibal Gálvez Cabrera y Adela Idrogo Bustamante y a mis queridos Hermanos Rosmery y Kevin Omar Gálvez Idrogo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.5. LIMITACIONES.....	14
1.6. OBJETIVOS.....	14
1.7. HIPOTESIS	14
1.8. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS.....	15
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	16
2.2. BASES TEÓRICAS.....	20

2.3. ABREVIATURAS Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	34
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.3. PROCEDIMIENTO	37
3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	47
4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	66
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
5.1. CONCLUSIONES	67
5.2. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÉNDICES	75
ANEXOS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de ubicación de calicatas	40
Tabla 2. Ensayos de laboratorio realizados en la investigación.....	41
Tabla 3. Tipo de tratamiento y análisis de los datos obtenidos en la investigación.....	46
Tabla 4. Tabla para elección de prueba estadística.....	46
Tabla 5. Resultados de CBR obtenidos in situ.....	47
Tabla 6. Resumen de clasificación de suelos.....	48
Tabla 7. Resultados de CBR de Laboratorio.....	56
Tabla 8. Resultados obtenidos con el penetrómetro dinámico de cono (PDC).....	57
Tabla 9. Comparación entre índice PDC y grado de compactación del suelo.....	59
Tabla 10. Parámetros del suelo obtenidos en campo y laboratorio.....	60
Tabla 11. Cuadro comparativo de los valores de CBR de campo y laboratorio.....	61
Tabla 12. Valores de la capacidad de soporte de subrasante.....	63
Tabla 13. Medias de tendencia central.....	63
Tabla 14. Medidas de dispersión.....	64
Tabla 15. Parámetros de evaluación de normalidad.....	64
Tabla 16. Resultados de análisis estadístico.....	65
Tabla 17 – Tabla 36. Análisis granulométrico y límites de consistencia.....	72-108
Tabla 37 – Tabla 46. Ensayo proctor modificado.....	103-120
Tabla 47 – Tabla 85. Compactación, Hinchamiento y penetración CBR.....	114-158
Tabla 86 – Tabla 87. Ensayo de peso unitario del suelo in situ.....	155-163
Tabla 88 – Tabla 97. Resultados de ensayo PDC.....	158-183
Tabla 98. Número mínimo de puntos de investigación de acuerdo con el tipo de vía ..	183

Tabla 99. Ecuación de correlación para obtener el CBR con la utilización del PDC	183
Tabla 100. Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO	184
Tabla 101. Gráfica de la Unified Soil Classification para suelos de grano grueso.....	185
Tabla 102. Gráfica de la Unified Soil Classification para suelos de grano fino	186
Tabla 103. Carta de Plasticidad (Adaptado de Braja M. 2012)	187
Tabla 104. Métodos de ensayo – Proctor Modificado	188

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del lugar en estudio	36
Figura 2. Flujograma del procedimiento utilizado en la presente investigación	38
Figura 3 – Figura 12. Descripción de perfiles estratigráficos.....	50-62
Figura 13. Comparación de los resultados obtenidos in situ y laboratorio.....	62
Figura 14 – Figura 33. Curva de distribución granulométrica y curva de flujo	73-108
Figura 34 – Figura 43. Curva de compactación.....	103-119
Figura 44 – Figura 64. Curva Esfuerzo – Penetración CBR y Densidad vs CBR .	116-160
Figura 65 – Figura 94. Curva PDC, Curva de Balance y Digrama Estructural	158-184
Figura 95 – Figura 108. Panel Fotográfico.....	1890-195

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, fue realizado con el fin de realizar un estudio comparativo de calificación bearing ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en el suelo de subrasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca, el estudio se ha efectuado en dos fases: la primera por medio de trabajos de campo a través de diez (10) pozos de exploración a cielo abierto o calicatas y ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ; la segunda fase consistió en realizar ensayos de laboratorio para determinar las características principales del tipo de suelo y determinar la capacidad relativa de soporte C.B.R. del suelo en estudio. Con los valores de CBR de laboratorio y CBR in situ obtenidos con el PDC, se comparó los resultados obtenidos, de ello se concluyó que los valores del índice CBR obtenidos in situ son mayores que los obtenidos en laboratorio; esto debido a diversos factores tales como grado de compactación, contenido de humedad, porcentaje de fragmento rocoso y principalmente del tipo de suelo encontrado; es por ello que el valor de CBR de diseño obedecen más que a un valor exacto a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis.

Palabras Claves: Comparación; Valor de Soporte California (CBR); Penetración Dinámica de Cono (PDC); Sub rasante; pavimento.

ABSTRACT

The present research work was carried out in order to carry out a comparative study of laboratory California bearing ratio (CBR) and dynamic cone penetration (PDC) in the subgrade soil of the new alternative bypass road in the city of Cajamarca. The study has been carried out in two phases: the first through field work through ten (10) open pit exploration wells or pits and in situ Dynamic Cone Penetration (PDC) tests; The second phase consisted of carrying out laboratory tests to determine the main characteristics of the type of soil and determine the relative capacity to support C.B.R. soil under study. With the values of CBR in the laboratory and CBR in situ obtained with the PDC, the results obtained were compared, from which it was concluded that the values of the CBR index obtained in situ are higher than those obtained in the laboratory; This is due to various factors such as degree of compactness, moisture content, percentage of rock fragment and mainly the type of soil found; that is why the design CBR value obey more than an exact value to a statistical value within a series of soil tests under analysis.

Keywords: Comparison; California Support Value (CBR); Dynamic Cone Penetration (PDC); Sub grade; pavement.

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño, construcción y rehabilitación de pavimentos ya sean flexibles o rígidos requiere de conocer las condiciones y características del terreno de fundación o sub rasante; esta información se obtiene en base a ensayos que se realizan en campo y laboratorio. Un factor muy importante que permite caracterizar el área de construcción de un pavimento es la capacidad de soporte de la sub rasante, este valor se obtiene mediante el índice CBR.

Alva Hurtado en el XI congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto realizado del 11 al 16 de noviembre del 2001 en la ciudad de Lima, expone lo siguiente: “Los resultados de CBR de laboratorio obedecen más que a un valor exacto a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis”, por eso el utilizar el equipo de Penetración Dinámica de Cono no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio; sino que permiten obtener mayor información de la capacidad de soporte del suelo.

Alva & Tupia (2001) afirman que: La evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero frecuentemente éstos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ y de placa; debido a esto se recurre a métodos indirectos tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, lo cual en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo del suelo.

Despierta el interés en la ingeniería vial la utilización de equipos sencillos y confiables para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de penetración in situ; el empleo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) reúne las condiciones indicadas. Este ensayo a nivel internacional se basa en la norma técnica ASTM D 6951 y a nivel nacional la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos recomienda la utilización de dicho equipo, pero no existe una Norma Técnica Nacional que avale los resultados obtenidos por este equipo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la diferencia de los valores de CBR obtenidos en laboratorio y los obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) en la subrasante de la nueva vía de evitamiento alternan de la ciudad de Cajamarca?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

En la región Cajamarca a la fecha no existen registros del ensayo de PDC o simplemente no han sido reportados; hoy en día es evidente como los ensayos de campo como (PDC) son utilizados en ciertos lugares, tanto en el ámbito internacional (normalizado) y nacional (aún no normalizado).

El reglamento nacional de edificaciones (RNE) CE. 010 pavimentos urbanos en el capítulo 3.00. ítem 3.2.1: tabla 1 es mencionado y recomienda su utilización cuando sea necesario su aplicación, pero puede ser observable y hasta desestimado por no estar amparado por las normas técnicas peruanas (NTP) como un ensayo confiable para obtener algunos valores de la resistencia del suelo in situ.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN SOCIO – ECONÓMICA

La investigación permitirá que el PDC establezca beneficios y utilidades al emplear el equipo, debido a su bajo costo de uso operacional y su utilidad en lugares inaccesibles; constituyendo la base esencial y punto de partida para realizar proyectos confiables ya que permitirá muchas inspecciones a lo largo del camino a pavimentar, asegurando información de estabilidad y conocer la variabilidad de estratos con mucha rapidez y a bajo costo.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

El ensayo de penetración dinámica de cono (PDC) minimiza el impacto ambiental, por ser un ensayo no destructivo, confiable y sostenible; en comparación del ensayo de California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

1.4. ALCANCE

Los resultados obtenidos en la presente investigación, se aplican a suelos existentes en la subrasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca (km. 00+00 al km. 4+100) o a suelos con similares características físicas que se encuentren en otros proyectos viales.

1.5. DELIMITACIÓN

- La investigación se desarrolló en la provincia y región Cajamarca en el tramo donde se proyecta construir la vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca (progresiva 00+00 hasta 4+100).
- En la presente investigación se realizó ensayos de CBR in situ con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) y CBR de laboratorio de los suelos de sub rasante de la vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.

1.6. LIMITACIONES

Los valores de CBR obtenidos in situ y en laboratorio son válidos solo para suelos de similares características.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo de california bearing ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en el suelo de subrasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas de los suelos en estudio y clasificarlos.
- Determinar el valor del índice CBR con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).
- Determinar el valor del índice CBR en laboratorio.
- Realizar un análisis de los resultados del índice CBR obtenidos en campo (PDC) y los resultados obtenidos en laboratorio.

1.8. HIPOTESIS

Los valores de CBR obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono son mayores a los valores obtenidos en laboratorio en 5%, en la sub rasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.

1.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS

El presente estudio cuenta con cinco capítulos, el contenido de cada capítulo se detalla a continuación:

Capítulo I: Descripción del contexto y la realidad problemática, justificación de la investigación, alcances de la investigación, limitaciones, objetivos de la investigación e hipótesis.

Capítulo II: Antecedentes teóricos de la investigación, dando a conocer los resultados más importantes que se lograron, bases teóricas necesarias sobre las cuales se fundamenta y apoya la investigación, definición de términos básicos empleados.

Capítulo III: Ubicación geográfica y temporal de la investigación, descripción del procedimiento seguido para el desarrollo de la misma, detalle del tipo de tratamiento y análisis de los datos obtenidos y su forma de presentación.

Capítulo IV: Presentación de los resultados más importantes obtenidos a través de la investigación, discusión, explicación lógica y comparación de dichos resultados con otros relacionados, encontrados en la literatura consultada.

Capítulo V: En este capítulo se presenta las conclusiones que están en función de los objetivos trazados y de los resultados obtenidos; además se indica algunas recomendaciones pertinentes para la presente investigación.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Beskid & Martínez (2004), en la ciudad de Maracaibo Venezuela desarrollaron un estudio de investigación titulado: **“Estudio comparativo de los resultados del California Bearing Ratio (CBR) obtenidos en laboratorio y con un Penetrómetro Dinámico”**, donde concluyeron que los resultados de la correlación obtenida fueron satisfactorios para valores de CBR bajos ($CBR < 6\%$); además concluye que con los resultados obtenidos en su investigación no se puede establecer una metodología eficaz para determinar el valor de CBR mediante el uso del PDC, pero con la realización de más ensayos como los efectuados para el estudio realizado se debería conseguir una correlación que permita finalmente conseguir el CBR con el uso del PDC.

Mendoza, Ribero y Valladares, llevaron a cabo un estudio de investigación en la Universidad de Sulia (Venezuela) en el año 2001 **“ Correlación de los valores obtenidos del Cono de Penetración Dinámica (CPD), y el Valor de Soporte del Suelo California Bearing Ratio (CBR)”**, en dicho estudio obtuvieron los valores de CBR de laboratorio y las curvas del DPC de cada una de las muestras, aplicaron el método estadístico de regresión lineal, cuya ecuación determinó un $r = 0,96$ y $R = 93\%$, por lo que podría decirse que las estimaciones muestrales de r cercanos a la unidad implican una buena correlación lineal entre X y Y . Estos resultados indicaron que el PDC es un instrumento que suministra información valiosa para la viabilidad y que se permite determinar de una forma rápida, sencilla y económica la capacidad portante del suelo, lo cual constituye un aporte para el avance tecnológico de la construcción y mantenimiento de obras viales.

Osorio & Casas (2011), en su trabajo de especialidad realizado en la localidad de suba (Bogotá) **“Correlación PDC con CBR para suelos en la localidad de suba”**, presentaron la correlación P.D.C. y C.B.R. obtenida mediante ensayos in-situ de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio. Los resultados de C.B.R. obtenidos fueron menores en comparación a los resultados obtenidos utilizando la correlación propuesta en la Norma Técnica ASTM D 6951. De ello se concluyó que la ecuación propuesta por “US Army Corps of Engineers” para suelos colombianos no es confiable; por lo que se recomienda calibrar una ecuación para cada zona del país, con una mayor cantidad de datos, de tal manera que sea más confiable y así en el futuro utilizar el P.D.C. para la evaluación de suelos para pavimentos.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

No se encontraron investigaciones que relacionen o comparen los resultados de CBR de laboratorio con los resultados de CBR obtenidos con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) utilizando la ecuación propuesta en la norma técnica ASTM D 6951; sin embargo, se encontraron diferentes estudios que hacen referencia a dichos temas lo cual nos ha servido como guía para realizar el presente trabajo.

Tupia (2001) en su tesis de grado **“Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico”**, estudio la utilidad del PDC en la construcción de vías periféricas en la capital Lima y en algunas carreteras del interior del país, presentando los resultados en el XI congreso Iberoamericano del Asfalto realizado en Lima en noviembre del 2001, presentando como segundo autor al Dr. Jorge Alva Hurtado. Dentro de los resultados de la investigación está la obtención de una ecuación o fórmula de relación del CBR in situ con el PDC según su reporte siendo muy cercana a la presentada en la norma técnica ASTM D 6951; de acuerdo a las evaluaciones realizadas y presentadas, se determinó para los suelos arcillosos, que si la humedad se encuentra entre 4% y 15% y el índice de resistencia se encuentra entre 14 mm/golpe a 17 mm/golpe, el CBR de la correlación resulta próximo al CBR de laboratorio al 100%, pero cuando el índice de resistencia está entre 17 mm/golpe a 25 mm/golpe, el CBR de la correlación es cercano al CBR de laboratorio al 95%, en ambos casos la aproximación es 3%. Para los suelos arenosos que presentan humedad entre 3% a 15% y el índice de resistencia entre 5 mm/golpe a 8 mm/golpe, el CBR de la correlación es cercano al CBR de laboratorio al 100%, pero cuando el índice de resistencia esta entre 8 mm/golpe a 11 mm/golpe, el CBR de la correlación es próximo al CBR de laboratorio al 95%, en ambos casos la aproximación es más o menos de 5%.

Injante (2012) en su tesis de maestría: **“Resistencia insitu de subrasante utilizando penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica”** concluye que los valores de CBR in situ calculados con las formulas obtenidas difieren en $\pm 10\%$ del valor base ensayado en equipo formal en un 90% del total de mediciones; además agrega que las formulas correlacionadas obtenidas tiene similitud y acercamiento a las formulas investigadas por el cuerpo de ingenieros de USA, base de la normalización ASTM D 6951.

El PDC actualmente no está normalizado en el Perú, pero es una necesidad su normalización para su aplicación formal, a pesar de poder ampararse en la normalización ASTM D 6951 (03) (mencionado y recomendado por RNE CE 010 en capítulo 3.00 ítem 3.2.1: tabla 1) cuando sea necesario su aplicación, pero puede ser observable y hasta desestimado por no estar amparado por las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

2.1.3. A NIVEL LOCAL

A la fecha no se encuentra publicaciones sobre investigaciones del índice CBR obtenido con penetrómetro dinámico de cono (PDC).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. SUELO

Crespo (2004), define el término suelo como una capa delgada de material sobre la corteza terrestre que proviene de la desintegración y alteración física, química o ambos, de las rocas y de los residuos producto de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

Peck et al, (1983) diferencian los términos roca y suelo, indican que roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión; además consideran como suelo a un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes.

2.2.2. SUBRASANTE

La AASHTO denomina “Sub Rasante” a la línea que separa a esta porción de suelo, del pavimento propiamente dicho.

La norma EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), en el glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, subrasante se define como: Nivel superior de la plataforma de una carretera adecuadamente conformada, nivelada y compactada. La línea de subrasante generalmente se ubica en el eje de la carretera, sobre la subrasante se coloca la estructura del pavimento.

En el Capítulo 2, Movimiento de Tierras, Sección 205, Terraplenes: menciona que en los terraplenes se distinguen tres partes o zonas constitutivas:

- Base, parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno, la que ha sido variada por el retiro de material inadecuado.
- Cuerpo, parte del terraplén comprendida entre la base y la corona.

- Corona (Capa Subrasante), formada por la parte superior del terraplén construida en un espesor de treinta centímetros (30 cm) salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indique un espesor diferente.

2.2.3. PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU

Según el MTC (2016) la finalidad del ensayo es determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena. Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras, estructuras de contención, depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.

2.2.4. GRANULOMETRÍA DEL SUELO

Según el MTC (2016) la finalidad del análisis granulométrico es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo, clasificados en función del tamaño de sus partículas, a partir de los cuales se definen los términos grava, arena y material fino (limo y arcilla).

2.2.5. CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

Según el MTC (2016) “La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas”.

Medina, Barra, & Guzmán (2008), señalan que: La importancia de la humedad de un suelo radica en que, junto a otras características, determina su comportamiento, por ejemplo, influye en los cambios de volumen, estabilidad mecánica y cohesión, siendo particularmente influyente cuando se trata de suelos de grano fino.

2.2.6. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE UN SUELO

Los límites de consistencia o de Atterberg, según el MTC (2014), establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad; definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido; estos límites son:

- A. **Límite Líquido (LL)**, Es el contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando este pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.
- B. **Límite Plástico (LP)**, Es el contenido de humedad del suelos, expresado en porcentaje, cuando este pasa del estado plástico a semisólido y empieza a romperse.
- C. **Límite de Contracción (LC)**, Es el contenido de humedad del suelo cuando este pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

2.2.7. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Braja (2012), afirma lo siguiente: Los sistemas de clasificación de suelos dividen los suelos en grupos y subgrupos con base en propiedades ingenieriles comunes como la *distribución granulométrica*, el *límite líquido* y el *límite plástico*. Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son:

- A. *Sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*
- B. *Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System (SUCS))*

Además, agrega lo siguiente: Un sistema de clasificación de los suelos, es una agrupación de esto con características semejantes; el propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Finalmente concluye que: El sistema de la AASHTO se emplea principalmente para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera y el Sistema SUCS se utiliza en construcción de cimentaciones.

2.2.7.1. Sistema AASHTO

La AASHTO en su designación M 145 – 91, el sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en grupos, basado en las determinaciones de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad del suelo determinados en laboratorio, (ver anexo 03).

a) SUELOS GRANULARES: 35% o menos pasa el tamiz N° 200 comprende:

- **Grupo A-1,** Si menos del 20% pasa el tamiz N°200 y menos del 50% pasa el tamiz N° 40; el material típico de este grupo es una mezcla bien gradada de fragmentos de roca o grava, arena gruesa, arena fina, y material aglutinante no plástico o ligeramente plástico. Sin embargo, este grupo también incluye fragmentos de roca, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc. sin material aglutinante.

Sub Grupo A-1-a, Incluye aquellos materiales constituidos principalmente de fragmentos de roca o grava bien gradada, ya sea con o sin aglutinante de material fino.

Sub Grupo A-1-b, Incluye aquellos materiales constituidos principalmente de arena gruesa bien gradada, ya sea con o sin aglutinante.

- **Grupo A-2**, Si menos del 35% pasa el tamiz N°200; este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares los cuales están en el límite entre los materiales que caen en los grupos A – 1 y A – 3 y los materiales limo arcillosos de los grupos A – 4, A – 5, A – 6, y A – 7, este incluye todos los materiales que contienen el 35 por ciento o menos que pasa el tamiz 75 μm (N° 200) que no pueden ser clasificados como A – 1 o A – 3, debido al contenido de finos o plasticidad o ambos, que exceden las limitaciones para aquellos grupos.
- **Grupo A-3**, Si menos del 10% pasa el tamiz N° 200 y 51% o más pasa el tamiz N° 40; el material típico de este grupo es arena fina de playa o desierto sin finos de limo o arcilla o con una muy pequeña cantidad de limo no plástico. El grupo incluye también mezclas de arena fina pobremente gradada y cantidades limitadas de arena gruesa y grava.

b) MATERIALES DE LIMO Y ARCILLA: Más del 35% pasa el tamiz de 75 μm (N°200).

- **Grupo A-4**, Si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 40\%$; el material típico de este grupo es suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, usualmente tiene el 75 por ciento o más que pasa el tamiz 75 μm (N° 200). El grupo también incluye mezclas de suelo fino limoso y hasta 64 por ciento de arena y grava retenido en el tamiz de 75 μm (N° 200).
- **Grupo A-5**, Si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \geq 41\%$; el material típico de este grupo es similar al que se describe en el grupo A – 4, excepto que este es usualmente de carácter diatomáceo o micáceo y puede ser altamente elástico como es indicado por su alto límite líquido.

- **Grupo A-6**, Si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$; el material típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico que usualmente tiene el 75 por ciento o más que pasa el tamiz $75 \mu\text{m}$ (N° 200). Los materiales de este grupo usualmente tienen cambios volumétricos elevados entre el estado húmedo y el estado seco.
- **Grupo A-7**, Si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \geq 41\%$; el material típico de este grupo es similar al que se describe en el grupo A – 6, excepto que este tiene un elevado límite líquido característico del grupo A – 5 y pueden ser elásticos, así como estar sujetos a altos cambios volumétricos.
- **Grupo A-8**, La clasificación de estos materiales está basada en una inspección visual, y no depende del porcentaje que pasa el tamiz $75 \mu\text{m}$ (N° 200), límite líquido o índice de plasticidad. El material está compuesto principalmente por materia orgánica descompuesta, generalmente tiene textura fibrosa, color marrón oscuro o negro, y un olor a descomposición, Estos materiales orgánicos son inadecuados para uso en terraplenes y subrasantes dado que son altamente compresibles y tienen baja resistencia.

Además, la AASHTO en su designación M 145 – 91 (especificación estándar para clasificación de suelos y mezclas de agregados para propósitos de construcción de carreteras), para la evaluación del suelo dentro de cada grupo es hecha por medio del “índice de grupo” el cual es un valor calculado de una fórmula empírica; este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo. El índice de grupo está dado por la ecuación:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

F= por ciento que pasa la malla N°200

LL= límite líquido

PI= límite de plasticidad

A continuación, se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:

- Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.
- El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases.
- El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.
- Cuando el suelo es NP o cuando el límite no puede ser determinado, el índice de grupo debe considerarse (0).
- Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una verificación visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad, Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto y fuerte.

2.2.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El sistema que utilizamos para la clasificación de las distintas muestras de suelo fue el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual deriva directamente del Sistema de Clasificación de Aeropuertos, propuesto en 1942 por el Dr. Aturo Casagrande, en la universidad de Harvard, y orientado hacia obras aeroportuarias. Juárez. E & Rico. R (2004).

La ASTM en su designación D 2487 – 11, describe un sistema para clasificación mineral y orgánica de suelos para propósitos de ingeniería, basados en la determinación de laboratorio de características como tamaño de las partículas, límite líquido e índice de plasticidad. Como se muestra en la tabla 20 y 21 (ver anexo 03 y 04), este sistema de clasificación identifica tres divisiones mayores de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos; estas tres divisiones se subdividen en un total 15 grupos básicos de suelos.

Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería. La base de la clasificación de suelos está en las siguientes propiedades:

- Porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa por el tamiz N° 200)
- Forma de la curva de distribución granulométrica.
- Características de plasticidad y compresibilidad, (ver anexo 4)

2.2.8. COMPACTACIÓN DE SUELOS

Según Crespo (2004), la compactación de los suelos es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos; se distingue de la consolidación de los suelos en que, en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de difusión; ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

Además, agrega que la importancia de la compactación de los suelos estriba en el *aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación* que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Proctor en el año 1933 publicó sus investigaciones acerca de la compactación de suelos, cuando se conocieron los factores que intervienen en la compactación.

Proctor encontró que aplicando al suelo cierta energía de compactación el peso volumétrico varía con el contenido de humedad; buscando una prueba de laboratorio que igualara los resultados obtenidos en el campo con los diferentes equipos de compactación disponibles en esa época; Proctor propuso la prueba de compactación que hoy en día lleva su nombre; para la elección del método de ensayo se tendrá en cuenta lo descrito en la tabla 24, (ver anexo 5).

2.2.9. CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO

Contreras & García (2019) sostienen que existen una serie de parámetros referentes al terreno que son indispensables al momento de realizar cualquier construcción u obra de ingeniería civil; muchos de estos parámetros se obtienen a partir de ensayos realizados en el laboratorio o en campo. Actualmente hay diferentes métodos o procedimientos para medir la capacidad de soporte

o resistencia de los suelos de la subrasante en un pavimento, dentro de los cuales se puede encontrar los siguientes:

- a) Módulo resiliente
- b) Relación del valor de soporte de California (CBR)
- c) Valor de resistencia Hveem (Valor R)
- d) Ensayo de placa de carga (Valor K)
- e) Penetración dinámica con cono (PDC)

Además, indican que de los ensayos anteriormente mencionados el CBR es el más comúnmente utilizado para determinar la capacidad de soporte de la subrasante, el valor de CBR se utiliza para estimar el Módulo Resiliente del suelo; este parámetro, junto con las características del nivel de tránsito, propiedades de los materiales de las capas, serviciabilidad, entre otras, determinan los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento.

Según el MTC (2016), para determinar un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio), se sigue el procedimiento estipulado en la norma técnica ASTM D 1883; cuya finalidad de este método de ensayo es evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje.

Crespo (2004), afirma lo siguiente: El valor relativo de soporte de un suelo (C.B.R.) es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular a una muestra de suelo, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo de piedra triturada.

2.2.10. PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO

Según la norma técnica ASTM D 6951 (2009) el Penetrómetro dinámico de Cono (PDC) es un instrumento de medición que nos permite obtener la razón de penetración en mm/golpe en suelos inalterados y/o compactados. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe, valor que es utilizado para describir la rigidez, para estimar una resistencia CBR in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material.

Según Injante (2012), en su tesis de maestría indica que: El instrumento PDC mide la penetración por golpe a través de las distintas capas componentes de un terreno o pavimento; esta penetración es función de la resistencia al corte in situ de los materiales del paquete estructural. El perfil (resultante) en profundidad, brinda por lo tanto una indicación de las propiedades de los materiales de los estratos existentes en las condiciones particulares que se encuentran en el momento del estudio.

Alva & Tupia (2001) en el XI Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto exponen lo siguiente: El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados; además indican que es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación. Finalmente concluyen que este equipo puede ser utilizado en: identificación de tramos homogéneos, control de la construcción de las distintas capas de pavimento y determinación de la eficiencia de equipos de compactación, evaluación de un suelo colapsable, estabilidad de taludes y evaluación de la estabilidad de un terreno de cimentación.

2.2.11. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

2.2.11.1. Media Aritmética.

La media aritmética, promedio o simplemente media, se define como la división de la suma de todos los valores entre el número de valores de la muestra. La fórmula para hallar la muestra es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{----- (I)}$$

Donde:

X_i = Valor de rendimiento de cada evento

n = Número de eventos

\bar{X} = Rendimiento promedio

2.2.11.2. Varianza Muestral.

Es una medida de variabilidad que expresa el grado de dispersión de los datos con respecto a la media aritmética; es decir, expresa cualitativamente la dispersión que hay alrededor de la media, se denota por S^2_x .

La varianza se define como la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media, dividida por n .

$$S^2_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \text{----- (II)}$$

2.2.11.3. Desviación Estándar Muestral.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \text{----- (III)}$$

Donde:

$(X_i - \bar{x})$ = Desviación con respecto a la media

n = Número de Observaciones

\bar{X}_i = promedio de los valores para cada intervalo llamado también marca de clase

\bar{X} = Media Aritmética

$(n - 1)$ = Son los grados de libertad

2.2.11.4. Coeficiente de Variación (C.V.)

El coeficiente de variación es una medida de dispersión expresada en valor relativo, independiente de las unidades empleadas; se define como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética, esto es:

$$\boxed{C.V = \frac{S_x}{\bar{X}} \times 100} \text{----- (IV)}$$

Donde el Coeficiente de Variación también, nos permite juzgar el grado de variación dos o más series de datos, es decir es más homogénea la serie mientras es menor es el C.V.

El coeficiente de variación es una medida adimensional de la variabilidad alrededor de la media, muy útil para comparar la variabilidad de dos o más series de datos que tengan distintas unidades de medida y/o distintas medias aritméticas.

Si C.V. < 10%, entonces la media aritmética es altamente precisa.

Si $10 \leq C.V. < 15\%$, entonces la media aritmética es medianamente precisa.

Si $15 \leq C.V. < 30\%$, entonces la media aritmética tiene bajo grado de precisión.

Si C.V. $\geq 30\%$, entonces la media aritmética es referencial.

La serie es más homogénea mientras menor es el coeficiente de variación.

2.2.11.5. Determinación del Intervalo de Confianza para la Media

El Intervalo Verdadero Promedio (I.V.P.) es el intervalo dentro del cual pueden hallarse las estimaciones del verdadero promedio, y se lo calculará en base a la estimación de la media aritmética y para un determinado nivel de confiabilidad, 95% para este estudio.

Representación Matemática:

$$\boxed{\bar{X} - t_{0,975(n-1)} \frac{S}{n} < \mu < \bar{X} + t_{0,975(n-1)} \frac{S}{n}} \text{ ----- (V)}$$

Donde:

S = Desviación Estándar Muestral

\bar{X} = Media Aritmética

$t_{0,975(n-1)}$ = Coeficiente de Confiabilidad correspondiente al 95%

t = valor de la función **t** de Student

n = Tamaño de la Muestra

2.2.11.6. Cálculo del coeficiente de confiabilidad

$t_{0,975(n-1)}$ se halla mediante la tabla de distribución acumulativa:

En la primera fila de la tabla de distribución acumulativa se ubica el valor de 0,975 que se obtiene al resolver $(1+95\%)/2$ y en la primera columna, empezando por la izquierda, el grado de libertad $(n-1)$ que corresponde a R. Una vez ubicado estos valores, se interceptan y el valor obtenido corresponde al coeficiente de confiabilidad.

2.3. ABREVIATURAS Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. ABREVIATURAS

- a) **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
- b) **ASTM:** American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- c) **MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- d) **NTP:** Norma Técnica Peruana.
- e) **PDC:** Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).
- f) **IP:** Índice Plástico.
- g) **LL:** Limite Líquido.
- h) **LP:** Limite Plástico.
- i) **CBR:** California Bering Ratio (valor de la relación de soporte).

2.3.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a) **CALICATA:** Excavación que se realiza en el terreno que nos permite estudiar la estratigrafía del suelo a diferentes profundidades.
- b) **CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.
- c) **COMPACTACIÓN:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

- d) **CURVA DE COMPACTACIÓN (curva de Proctor):** Representación gráfica que relaciona el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación.
- e) **MÁXIMA DENSIDAD SECA:** Máximo valor de densidad seca definido por la curva de compactación para un esfuerzo especificado (estándar o modificado).
- f) **PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC):** Es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.
- g) **SUBRASANTE:** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

MATERIALES Y MÉTODOS

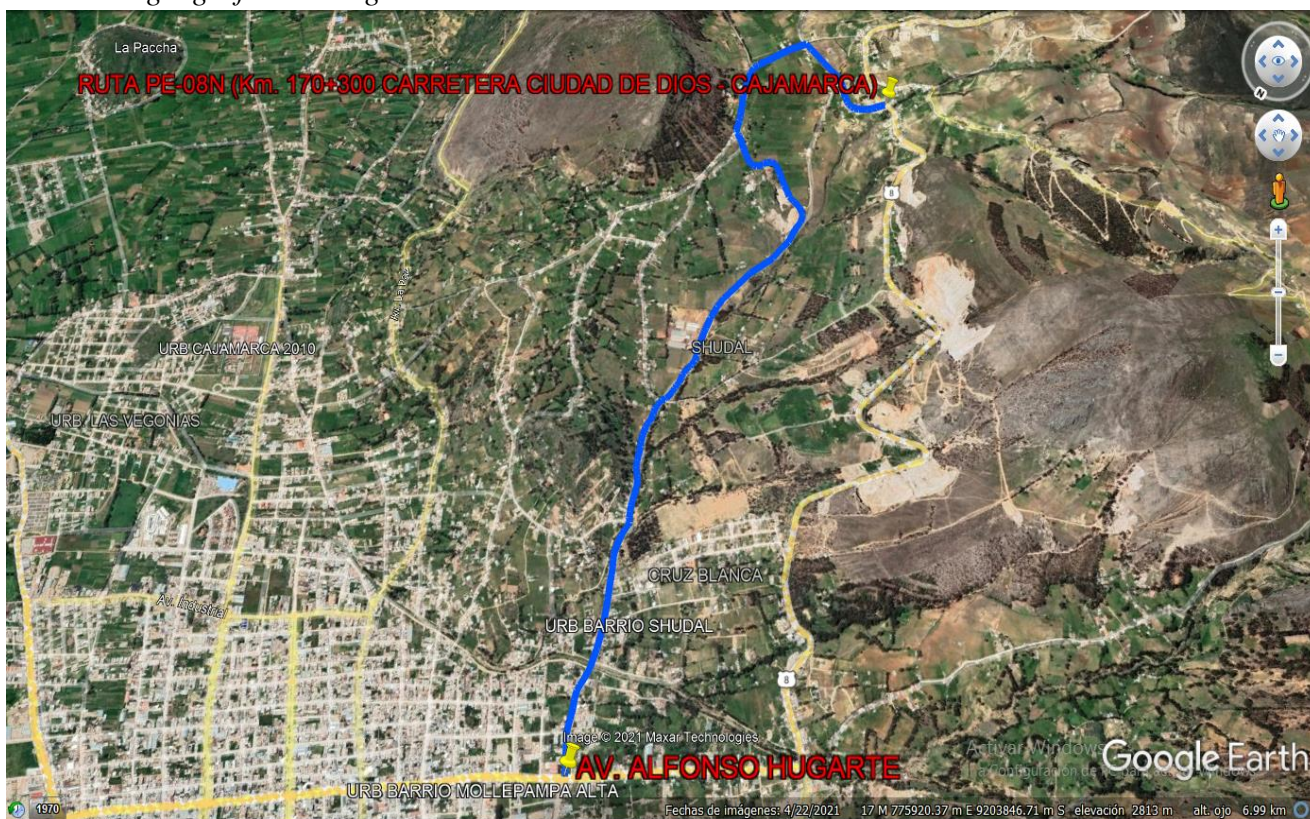
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

El Proyecto de tesis se desarrolló en el distrito de Cajamarca, cuyo tramo inicia en el Km. 00+000 en la intersección de avenida Héroes de Cenepa y Alfonso Ugarte y finaliza en el Km. 4+100 intersección con la ruta nacional PE-08N de la vía Ciudad de Dios Cajamarca (km. 170+300) a continuación, se detalla de manera específica la ubicación del presente estudio:

País	: Perú
Departamento	: Cajamarca
Provincia	: Cajamarca
Distrito	: Cajamarca

Figura 1.

Ubicación geográfica del lugar en estudio.



Fuente: Adaptado de Google Earth, Datum: WGS84

3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de investigación tuvo un tiempo o periodo de desarrollo de acuerdo al siguiente cronograma:

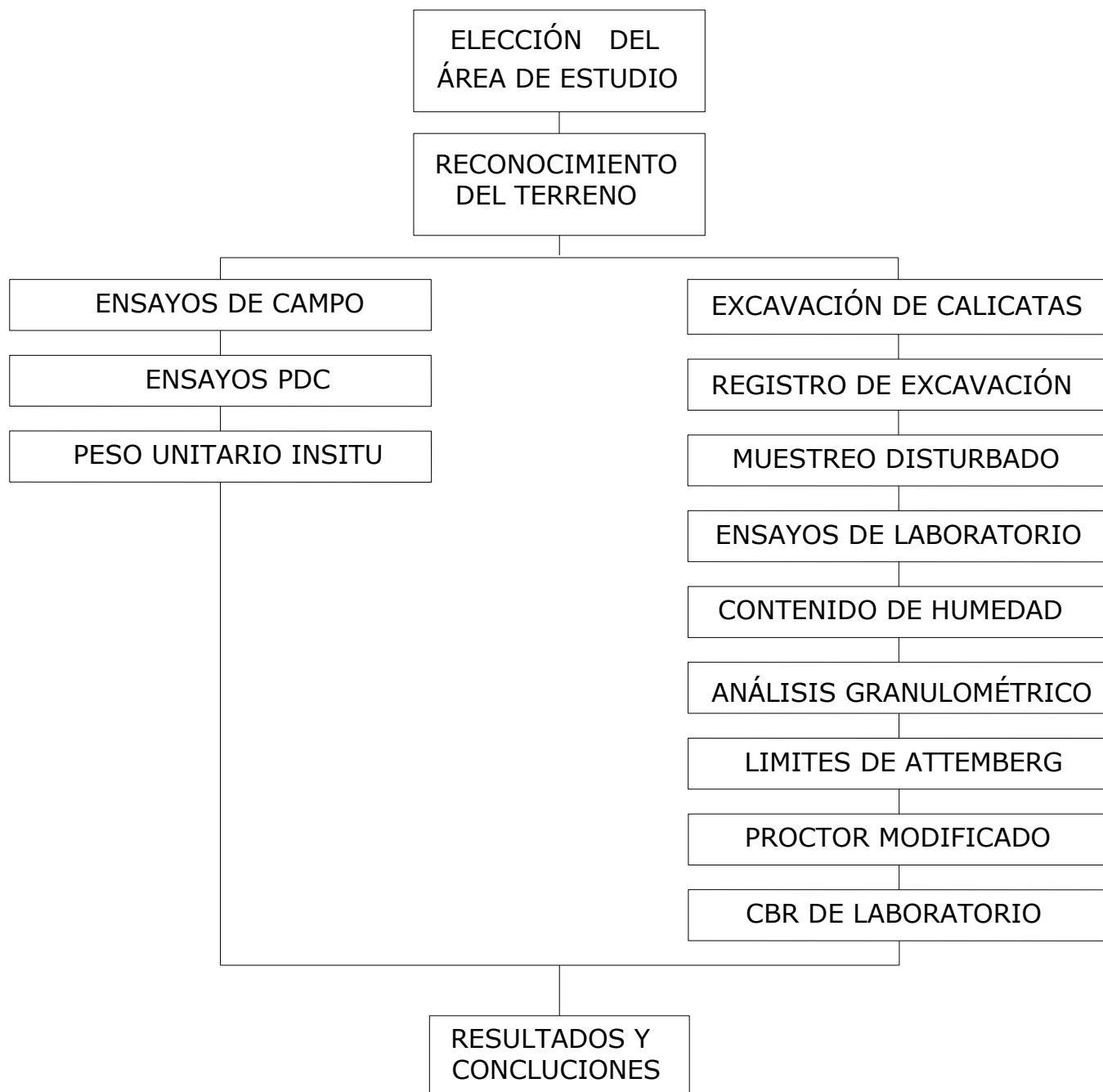
ITEM	ACTIVIDAD	FECHA	
		INICIO	TERMINO
1	Trabajos en campo	03/11/2018	7/11/2018
2	Trabajos en laboratorio	04/11/2018	14/12/2018
3	Trabajos de gabinete	15/05/2020	05/10/2021

3.3. PROCEDIMIENTO

A continuación, se presenta un flujograma del procedimiento empleado en la siguiente investigación, cuyo detalle de cada uno de los ítems se detalla en los siguientes subtítulos.

Figura 2.

Flujograma del procedimiento utilizado en la presente investigación.



3.3.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1.1. Técnicas

Se utilizó la técnica cuantitativa de estudios correlacionales que permitió determinar el grado en que las variables CBR de laboratorio y CBR in situ (PDC) están relacionadas, siguiendo el siguiente procedimiento:

- A. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono;** este ensayo se realizó en el mismo punto donde posteriormente se realizó la excavación de la calicata.
- B. Excavación de calicatas y muestreo de suelos;** el número de calicatas que se realizó fue determinado de acuerdo a la Norma Técnica CE,010 – Pavimentos Urbanos.

Se menciona que debe realizarse un mínimo de tres puntos de investigación, con una profundidad mínima de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía en estudio.

De acuerdo con la definición de los tipos de vías urbanas, la vía de evitamiento alterna se clasificó como una vía expresa; teniendo un ancho medio de 9,6 m, y una longitud aproximada de 4,5 Km, presenta un área aproximada de 43200 m², de acuerdo a la Tabla 17 y al área de vía estimada, se obtuvo cuarenta y cuatro puntos de investigación. Para fines de estudio, para el caso de este trabajo, se realizó diez puntos de investigación, en forma de calicatas, con una profundidad de 1,50 m.

En la siguiente tabla se muestra la ubicación y profundidad de investigación de las calicatas en estudio. Las coordenadas UTM de cada calicata se obtuvo con el navegador GPS.

Tabla 1.*Cuadro de ubicación de calicatas*

CALICATA	PROFUNDIDAD (m.)	PROGRESIVAS	COORDENADAS UTM	
			NORTE	ESTE
C – 1	1,00	Km. 00+020	9202284	775795
C – 2	1,00	Km. 00+500	9202209	775987
C – 3	1,00	Km. 01+000	9202274	776318
C – 4	1,00	Km. 01+500	9202572	776283
C – 5	1,00	Km. 02+000	9202722	775998
C – 6	1,00	Km. 02+500	9203234	775924
C – 7	1,00	Km. 03+000	9203822	775951
C – 8	1,00	Km. 03+500	9204136	775856
C – 9	1,00	Km. 04+000	9204446	775779
C – 10	1,00	Km. 04+100	9205071	775582

La obtención de las muestras de suelo en campo, se realizó de acuerdo a la Norma MTC E 101 (muestreo de suelos y rocas) y a su equivalente ASTM D 420 (guía estándar para la caracterización del sitio para el diseño de ingeniería y propósitos de construcción).

C. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de mecánica de suelos que se realizó para esta investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2.*Ensayos de laboratorio realizados en la investigación.*

ENSAYO	NORMA TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Contenido de Humedad	MTC E 108 ASTM D 2216 AASHTO T 265	Método operativo para determinar el contenido de humedad de un suelo. El contenido de humedad de un suelo, es la relación entre el peso del agua presente en la masa de suelo y el peso de las partículas sólidas del mismo.
Análisis granulométrico	MTC E 107 ASTM D 422 AASHTO T 88	Método para determinar de manera cuantitativa la distribución del tamaño de las partículas de un suelo. También permite determinar los porcentajes material que pasa los diferentes tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el tamiz 75 μm (No, 200).
Límite líquido	MTC E 110 ASTM D 4318 AASHTO T 89	Es el contenido de humedad expresado en porcentaje, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
Límite plástico	MTC E 111 ASTM D 4318 AASHTO T 90	Es el contenido de humedad expresado en porcentaje, cuando este se halla en el límite entre el estado sólido y plástico.
Proctor modificado	MTC E 115 ASTM D 1557 AASHTO T 180	Método de prueba establecido para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco del suelo.
CBR	MTC E 132 ASTM D 1883 AASHTO T 193	Método de prueba para determinar un índice de resistencia de los suelos, denominado valor soporte; conocido como CBR (California Bearing Ratio).

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2. Instrumentos de recolección de datos.

Se utilizó los equipos necesarios para realizar los ensayos de campo y laboratorio; las características, dimensiones y material de fabricación de los equipos utilizados se especifican detalladamente en cada Norma Técnica correspondiente al tipo de ensayo que se referencia en la Tabla 2. Además, se utilizó formatos para registro y recolección de datos, tomados en campo y laboratorio.

3.3.2. PROCESO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.

A. PRIMERA ETAPA: obtención y preparación de las muestras de suelo.

- Se reconoció el lugar donde se proyecta construir la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.
- Luego, se determinó el número de calicatas necesarias a realizar en el área de estudio.
- Se obtuvo las coordenadas UTM de cada calicata.
- Se realizó el ensayo de penetración Dinámica de Cono (PDC).
- Se determinó el peso unitario del suelo *in situ* siguiendo el procedimiento indicado en la norma técnica ASTM D 1556.
- Se realizó la excavación de las calicatas hasta una profundidad mínima de 1,50 m.
- Seguidamente, se describió e identificó *in situ* las calicatas, de acuerdo a la Norma ASTM D 2488 (Práctica estándar para la descripción e identificación de suelos mediante procedimientos visuales – manuales), registrándose las principales características del suelo como: espesor de estrato, color, olor, consistencia, humedad, etc.

- Se obtuvo y transportó las muestras representativas de suelo de cada calicata, de acuerdo a la Norma MTC E 104 (conservación y transporte de muestras de suelo); en el caso de las muestras para el ensayo de contenido de humedad natural, se utilizó bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad, mientras se las transportó al laboratorio.
- Se preparó las muestras de suelo de manera adecuada para la realización de los ensayos de laboratorio necesarios de acuerdo a las Normas MTC E 105 (obtención en laboratorio de muestras representativas – cuarteo) y MTC E 106 (preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo).

B. SEGUNDA ETAPA: Ensayos de laboratorio.

- En primer lugar, se realizó el ensayo de contenido de humedad natural de las muestras de suelo, el cual se llevó a cabo inmediatamente después de transportar las muestras al laboratorio.
- Luego se realizó los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y límite plástico, con la finalidad de poder clasificar las muestras de suelo obtenidas de cada calicata.
- Seguidamente, se procedió a clasificar las muestras de suelo utilizando los sistemas AASHTO (AASHTO M 145 – 91) y SUCS (ASTM D 2487 – 11).

- Se eligió una muestra de suelo de todas las calicatas para realizar el ensayo Proctor modificado siguiendo el procedimiento estipulado en la norma técnica ASTM D 1557.
- Con el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima del ensayo Proctor modificado, se procedió a realizar el ensayo CBR de laboratorio siguiendo el procedimiento de ensayo estipulado en la norma técnica ASTM D 1883.

3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

3.4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

- A. Tipo de investigación:** de acuerdo al fin que se desea alcanzar, la presente investigación se clasificó en una investigación cuantitativo de observación y medición.
- B. Nivel de Investigación:** explicativa – correlacional ya que busca explicar y relacionar el comportamiento de las variables (CBR in situ con la utilización del PDC y CBR de laboratorio).

3.4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación es del tipo correlacional, siguiendo lineamientos y procedimientos establecidos en las Normas Técnicas empleadas para este trabajo (MTC, ASTM y AASHTO).

Método de Investigación: *Hipotético – deductivo*

3.4.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO, MUESTRA Y UNIDAD DE ANALISIS.

A. Población de estudio

La población escogida para este estudio son los suelos de la sub rasante de la vía de evitamiento alterna en la ciudad de Cajamarca, 4.1 kilómetros.

B. Muestra

Diez muestras de suelo de la sub rasante de la vía de evitamiento alterna en la ciudad de Cajamarca.

C. Unidad de observación

Suelo existente en la sub rasante del tramo de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.

D. Unidad de análisis

Capacidad Relativa de Soporte o CBR del suelo en estudio.

3.4.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

El tratamiento y análisis la variable de esta investigación se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Tipo de tratamiento y análisis de los datos obtenidos en la investigación.

Variable	Tipo de tratamiento	Análisis de datos
Índice CBR	Estadístico/Inferencial	Se cuantifica y evalúa la relación existente entre los valores de CBR obtenidos en campo con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) con los resultados de CBR obtenidos en laboratorio.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.1. Elección de la Prueba Estadística

En la función al siguiente cuadro se eligió la prueba estadística aplicable al presente estudio:

Tabla 4.

Tabla para elección de prueba estadística

OBJETIVO DEL ESTUDIO	VARIABLES	DISTRIBUCIÓN	TIPO DE MUESTRA	PRUEBA RECOMENDADA
COMPARAR DOS PROMEDIOS	Cuantitativas continuas	Normal	Muestras Independientes	T de Student
			Muestras Relacionadas	T de Student
	Cuantitativas	---	Muestras Independientes	U Mann Whitney
			Muestras Relacionadas	Wilcoxon

3.4.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados que se obtuvo a través de esta investigación se organizan y presentan mediante tablas, a partir de las cuales se puede comparar, analizar y discutir los mismos.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO

4.1.1.1. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC)

Una vez obtenido los datos de campo se procedió a calcular el valor del CBR in-situ con la utilización de la siguiente ecuación de correlación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos, establecido y normado en países como Estados Unidos (ASTMD 6951) y Colombia (INV E-172-07), dicha ecuación se presenta en la tabla 18.

Con la utilización de la ecuación de la tabla 18 se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.

Resultados de CBR obtenidos in situ.

CALICATA	PROGRESIVA (Km.)	PDC (mm/golpe)	CBR IN SITU (%) - PDC (ASTMD 6159)
C-1	0+020	18,89	10,87 %
C-2	0+500	21,67	9,32 %
C-3	1+000	27,78	7,05 %
C-4	1+500	30,14	6,34 %
C-5	2+000	13,69	15,58 %
C-6	2+500	15,87	13,20 %
C-7	3+000	12,17	17,78 %
C-8	3+500	21,67	9,32 %
C-9	4+000	11,20	19,50 %
C-10	4+100	12,04	18,00 %

Fuente: Certificados de ensayos realizados - Ver apéndice F

4.1.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Se utilizó muestras representativas de campo para realizar los ensayos de laboratorio; siguiendo los procedimientos establecidos en las normas técnicas detalladas en la tabla 2.

4.1.2.1. Clasificación de Suelos

Las muestras ensayadas en laboratorio se han clasificado de acuerdo a la Norma A.A.S.T.H.O. M 145 (Método para la Clasificación de Suelos en Vías de Transporte) y Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), bajo la Norma ASTM D 2487.

Tabla 6.

Resumen de clasificación de suelos

PROGRESIVA	Km. 00+020	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000
Calicata N°	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5
Muestra	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1
Profundidad (m.)	0,30 - 1,00	0,30 - 1,00	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00
% Que pasa N° 10	69,87	71,44	69,42	77,18	46,99
% Que pasa N° 40	63,60	65,60	60,21	64,72	26,35
% Que pasa N° 200	53,11	56,10	52,33	53,46	15,44
Limite Liquido (%)	42	44	33	58	29
Índice de Plasticidad (%)	10	10	14	28	11
Contenido de Humedad (%)	3,66	4,91	4,41	7,51	4,00
Clasificación AASHTO	A - 5 (4)	A - 5 (5)	A - 6 (4)	A - 7 - 5 (12)	A - 2 - 6 (0)
Clasificación SUCS	ML	ML	CL	CH	GC

PROGRESIVA	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500	Km. 04+000	Km. 04+100
Calicata N°	C - 6	C - 7	C - 8	C - 9	C - 10
Muestra	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1
Profundidad (m.)	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,30 - 1,00	0,30 - 1,00
% Que pasa N° 10	52,94	39,58	74,58	33,42	49,44
% Que pasa N° 40	38,14	24,99	64,20	28,41	41,03
% Que pasa N° 200	23,48	14,71	51,20	15,98	32,01
Limite Liquido (%)	36	30	35	29	40
Índice de Plasticidad (%)	11	12	9	11	12
Contenido de Humedad (%)	4,95	4,91	4,88	3,37	4,02
Clasificación AASHTO	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 4 (2)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)
Clasificación SUCS	GM	GC	ML	GC	GM

Fuente: Certificados de ensayos realizados - Ver Apéndice A

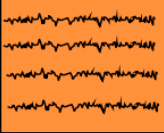
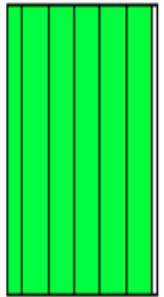
4.1.2.2. Descripción de Perfiles Estratigráficos

En base a los trabajos de exploración de campo y ensayos de laboratorio, se deduce lo siguiente:

CALICATA C – 1

Figura 3.

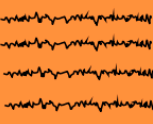
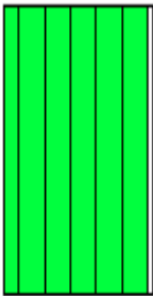
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 01.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,30			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50 1,00	A-5 (4)		Limo inorgánico de baja compresibilidad, de color marrón claro, mezclado con 26,80% de arena fina a gruesa y 30,14 % de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 2". Se encuentra con bajo grado de compacidad y bajo contenido de humedad.	M-1	3,66	42	10

CALICATA C –2

Figura 4.

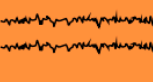

Descripción de perfil estratigráfico de calicata 02.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,30			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-5 (5)		Limo inorgánico de baja compresibilidad, de color marrón claro, mezclado con 15,34% de arena fina a gruesa y 28,56 % de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 2". Se encuentra con bajo grado de compactación y bajo contenido de humedad.	M-1	4,91	44	10
1,00							

CALICATA C –3

Figura 5.

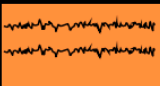

Descripción de perfil estratigráfico de calicata 03.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-6 (4)		Arcilla inorgánica de baja plasticidad, de color marrón claro, mezclado con 17,09% de arena gruesa a fina y 30,58 % de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 2". Se encuentra con bajo grado de compactación y bajo contenido de humedad.	M-1	4,41	33	14
1,00							

CALICATA C –4

Figura 6.

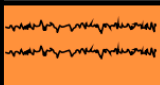
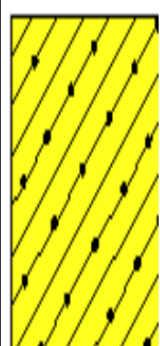
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 04.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-5-7 (6)		Arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclado con 23,72% de arena gruesa a fina y 22,82 % de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 2". Se encuentra con bajo grado de compactación y bajo contenido de humedad.	M-1	7,51	58	28
1,00							

CALICATA C –5

Figura 7.

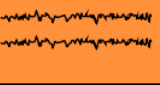
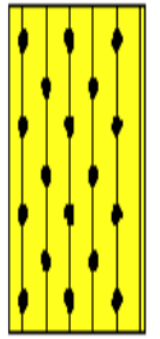
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 05.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-2-6 (0)		Grava arena arcillosa, pobremente gradada, de tamaño máximo de 2", de color marrón claro, mezclada con 31,55% de arena gruesa a fina y 15,44% de partículas finas menores que 0,075 mm., de baja plasticidad. Se encuentra poco consolidado, muy húmedo y presenta bajo contenido de humedad.	M-1	4,0	29	11
1,00							

CALICATA C -6

Figura 8.

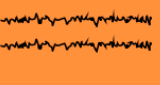
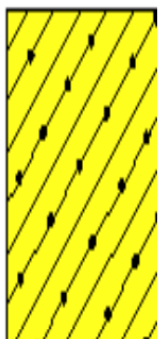
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 06.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-2-6 (0)		Grava arena limosa, pobremente gradada, de tamaño máximo de 2", de color marrón claro, mezclada con 29,46% de arena gruesa a fina y 23,48% de partículas finas menores que 0,075 mm. Se encuentra con bajo grado de compactación y presenta bajo contenido de humedad.	M-1	4,95	36	11
1,00							

CALICATA C -7

Figura 9.

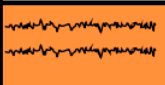
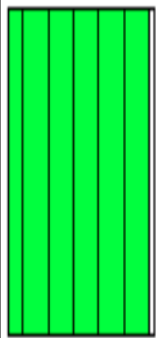
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 07.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-2-6 (0)		Grava arena arcillosa, pobremente gradada, de tamaño máximo de 2 1/2", de color marrón claro, mezclada con 24,87% de arena gruesa a fina y 14,71% de partículas finas menores que 0,075 mm., de baja plasticidad. Se encuentra con bajo grado de compactación y presenta bajo contenido de humedad.	M-1	4,91	30	12
1,00							

CALICATA C –8

Figura 10.

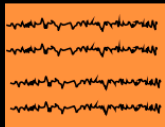
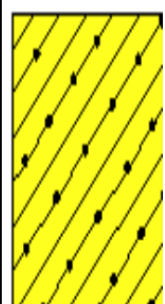
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 08.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,20			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-4 (2)		Limo inorgánico de baja compresibilidad, de color marrón claro, mezclado con 23,38% de arena fina a gruesa y 25,42 % de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 1 1/2". Se encuentra con bajo grado de compactación y bajo contenido de humedad.	M-1	4,88	35	8
1,00							

CALICATA C –9

Figura 11.

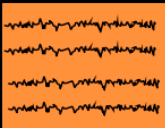
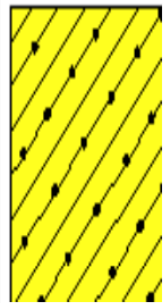
Descripción de perfil estratigráfico de calicata 09.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,30			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50	A-2-6 (0)		Grava arena arcillosa, pobremente gradada, de tamaño máximo de 2", de color marrón claro, mezclada con 17,44% de arena fina gruesa y 15,98% de partículas finas menores que 0,075 mm., de baja plasticidad. Se encuentra con bajo grado de compactación y presenta bajo contenido de humedad.	M-1	3,37	29	11
1,00							

CALICATA C -10

Figura 12.

Descripción de perfil estratigráfico de calicata 10.

PROF. (m.)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
	SIMBOLO (AASTHO)	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0,30			Relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante. Se encuentra con alto grado de compactación y bajo contenido de humedad.	S/M	--	--	--
0,50 1,00	A-2-6 (0)		Grava areno arcillosa, pobremente gradada, de tamaño máximo de 2", de color marrón claro, mezclada con 17,43% de arena fina gruesa y 32,01% de partículas finas menores que 0.075 mm., de baja plasticidad. Se encuentra con bajo grado de compactación y presenta bajo contenido de humedad.	M-1	4,02	40	12

4.1.2.3. Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) de Laboratorio

Para este ensayo se ha seguido el procedimiento establecido Norma A.A.S.T.H.O. T 193, para lo cual se han tenido en cuenta, los últimos estratos de suelo de cada calicata, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7.

Resultados de CBR de Laboratorio

PROGRESIVA	CALICATA	Prof. (m)	LADO	TIPO DE SUELO		Proctor Modificado (MTC E 115)		VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (%) (0,1" de Penetración)	
				SUCS	AASHTO	DMS (gr/cm ³)	OCH (%)	95% de MDS	100% de MDS
0+020	C-1	1,00	Izquierda	ML	A-5 (4)	1,783	12,00	7,78	9,31
0+500	C-2	1,00	Derecha	ML	A-5 (5)	1,764	12,70	7,37	8,83
1+000	C-3	1,00	Derecha	CL	A-6 (4)	1,700	13,20	5,65	6,83
1+500	C-4	1,00	Izquierda	CH	A-7-5 (12)	1,674	14,20	5,10	5,90
2+000	C-5	1,00	Derecha	GC	A-2-6 (0)	2,126	8,80	10,67	13,20
2+500	C-6	1,00	Izquierda	GM	A-2-6 (0)	2,100	9,40	9,20	11,40
3+000	C-7	1,00	Derecha	GC	A-2-6 (0)	2,136	8,60	12,00	15,70
3+500	C-8	1,00	Izquierda	ML	A-4 (2)	1,710	13,20	7,30	9,36
4+000	C-9	1,00	Derecha	GC	A-2-6 (0)	2,167	7,80	12,80	15,50
4+100	C-10	1,00	Izquierda	GM	A-2-6 (0)	2,155	8,30	11,95	17,05

Fuente: Certificados de ensayos realizados - Ver Apéndice D

4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC)

Con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) se obtuvo el valor de CBR a diferentes profundidades, dichos resultados se presentan en la tabla 8; cabe indicar que para realizar la comparación del índice CBR se tomó como referencia el último estrato, lugar donde se obtuvo la muestra para el ensayo de CBR de laboratorio.

Tabla 8.

Resultados obtenidos con el penetrómetro dinámico de cono (PDC)

PROGRESIVA	Km. 00+020	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Profundidad (m.)	0,00 - 0,30	0,00 - 0,30	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20
PDC (mm/golpe)	3,97	4,17	4,55	6,46	5,44
Peso Unitario (gr/cm ³)	2,18	2,17	2,13	2,00	1,97
Contenido de Humedad (%)	2,23	3,52	2,62	9,63	3,10
CBR Promedio (%)	62,41	58,97	53,44	36,14	43,97
Profundidad (m.)	0,30 - 0,70	0,30 - 0,70	0,20 - 0,60	0,20 - 0,60	
PDC (mm/golpe)	7,90	7,20	7,79	10,83	
CBR Promedio (%)	28,82	32,02	29,32	20,25	
Profundidad (m.)	0,70 - 1,00	0,70 - 1,00	0,60 - 1,00	0,60 - 1,00	0,20 - 1,00
PDC (mm/golpe)	18,89	21,67	27,78	30,14	13,69
Contenido de Humedad (%)	3,66	4,91	4,41	7,51	4,00
CBR Promedio (%)	10,87	9,32	7,05	6,34	15,58
Clasificación AASHTO	A - 5 (4)	A - 5 (5)	A - 6 (4)	A - 7 - 5 (12)	A - 2 - 6 (0)
Clasificación SUCS	ML	ML	CL	CH	GC

PROGRESIVA	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500	Km. 04+000	Km. 04+100
Ensayo N.º	6	7	8	9	10
Profundidad (m.)	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,30	0,00 - 0,30
PDC (mm/golpe)	6,07	5,56	5,01	3,28	2,97
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,96	1,96	2,05	2,21	2,27
Contenido de Humedad (%)	2,88	3,27	3,93	3,60	3,29
CBR Promedio (%)	38,77	42,78	48,01	77,21	86,13
Profundidad (m.)			0,20 - 0,60	0,30 - 0,70	0,30 - 0,70
PDC (mm/golpe)			9,03	5,14	5,52
CBR Promedio (%)			24,83	46,68	43,11
Profundidad (m.)	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,60 - 1,00	0,70 - 1,00	0,70 - 1,00
PDC (mm/golpe)	15,87	12,17	21,67	11,20	12,04
Contenido de Humedad (%)	4,95	4,91	4,88	3,37	4,02
CBR Promedio (%)	13,20	17,78	9,32	19,50	18,00
Clasificación AASHTO	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 4 (2)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)
Clasificación SUCS	GM	GC	ML	GC	GM

Fuente: Certificados de ensayos realizados - Ver apéndice F

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 8, se concluyó que la capacidad relativa de soporte del suelo está en función a factores tales como: grado de compacidad, contenido de humedad, porcentaje de fragmento rocoso y principalmente de acuerdo al tipo de suelo encontrado.

A. En función al grado de compacidad

En la evaluación de la resistencia de capas con el equipo de PDC se registró de la superficie hasta 0,20 m de profundidad una resistencia de 3 a 7 mm/golp, indicando consistencia dura; de 0,20 a 0,60 m de profundidad presenta una resistencia de 5 a 11 mm/golp, consistencia firme y de 0,60 m a 1,00 m presenta una resistencia 11 a 30 mm/golp, consistencia firme.

Tabla 9.

Comparación entre índice PDC y grado de compacidad del suelo

PROGRESIVA	Km. 00+020	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500	Km. 04+00	Km. 04+100	
CALICATA	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6	C - 7	C - 8	C - 9	C - 10	
Profundidad (m.)	0,00 - 0,30	0,00 - 0,30	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,20	0,00 - 0,30	0,00 - 0,30	
PDC (mm/golpe)	3,97	4,17	4,55	6,46	5,44	6,07	5,56	5,01	3,28	2,97	
Peso Unitario (gr/cm3)	2,18	2,17	2,13	2,00	1,97	1,96	1,96	2,05	2,21	2,27	
Grado de Compacidad (%)	99,09	98,64	96,82	95,24	93,81	93,33	91,16	95,35	97,36	100,00	
Profundidad (m.)	0,70 - 1,00	0,70 - 1,00	0,60 - 1,00	0,60 - 1,50	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,20 - 1,00	0,60 - 1,00	0,70 - 1,00	0,70 - 1,00	
PDC (mm/golpe)	18,89	21,67	27,78	30,14	13,69	15,87	12,17	21,67	11,20	12,04	
Peso Unitario (gr/cm3)	1,80	1,78	1,71	1,67	1,95	1,92	1,94	1,70	2,14	2,13	
Grado de Compacidad (%)	90,14	89,54	88,86	87,36	84,30	83,57	83,63	92,65	91,61	91,26	
Tipo de suelo	SUCS	ML	ML	CL	CH	GC	GM	GC	ML	GC	GM
	AASTHO	A - 5 (4)	A - 5 (5)	A - 6 (4)	A - 7 - 5 (12)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 4 (2)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)

Como se observa en la tabla 9; el grado de compacidad del suelo tiene una incidencia en la resistencia o capacidad de soporte de la sub rasante.

B. En función al porcentaje de fragmentos rocosos.

De acuerdo a la tabla 10; se observa que en los suelos de grano fino la variación del índice CBR es menor a 40% con respecto al valor de CBR obtenido en laboratorio. Por otro lado, los suelos de grano grueso la variación del índice CBR es mayor a 40% con respecto al valor de CBR obtenido en laboratorio, Cabe indicar que el porcentaje de fragmento rocoso tiene gran incidencia en los resultados obtenidos.

Tabla 10.*Parámetros del suelo obtenidos en campo y laboratorio*

PROGRESIVA	Km. 00+020	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500	Km. 04+000	Km. 04+500	
CALICATA	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6	C - 7	C - 8	C - 9	C - 10	
CBR Laboratorio (%)	7,78	7,37	5,65	5,10	10,67	9,20	12,00	7,30	12,80	11,95	
CBR PDC (%)	10,87	9,32	7,05	6,34	15,58	13,20	17,78	9,32	19,50	18,00	
Diferencia (%)	3,09	1,95	1,40	1,24	4,91	4,00	5,78	2,02	6,70	6,05	
% de variación	39,72	26,46	24,78	24,31	46,02	43,48	48,17	27,67	52,34	50,63	
DMS (gr/cm³)	1,78	1,76	1,70	1,67	2,13	2,10	2,14	1,71	2,17	2,16	
OCH (%)	12,00	12,70	13,20	14,20	8,80	9,40	8,60	13,20	7,80	8,30	
% Grava	30,14	28,56	30,58	22,82	53,01	40,53	60,42	25,42	66,58	50,56	
% Arena	16,75	15,34	17,09	23,72	31,55	35,99	24,87	23,38	17,44	17,43	
% Finos	53,11	56,10	52,33	53,46	15,44	23,48	14,71	51,20	15,98	32,01	
Tipo de suelo	SUCS	ML	ML	CL	CH	GC	GM	GC	ML	GC	GM
	AASTHO	A - 5 (4)	A - 5 (5)	A - 6 (4)	A - 7 - 5 (12)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 4 (2)	A - 2 - 6 (0)	A - 2 - 6 (0)

NOTA: Para realizar la comparación del índice CBR se tomó como referencia el último estrato de cada una de las calicatas en estudio.

4.2.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CBR

En la tabla 11 se realizó una comparación del valor relativo de soporte del terreno de fundación, comparando los valores obtenidos in situ (PDC) y laboratorio.

Tabla 11.

Cuadro comparativo de los valores de CBR de campo y laboratorio

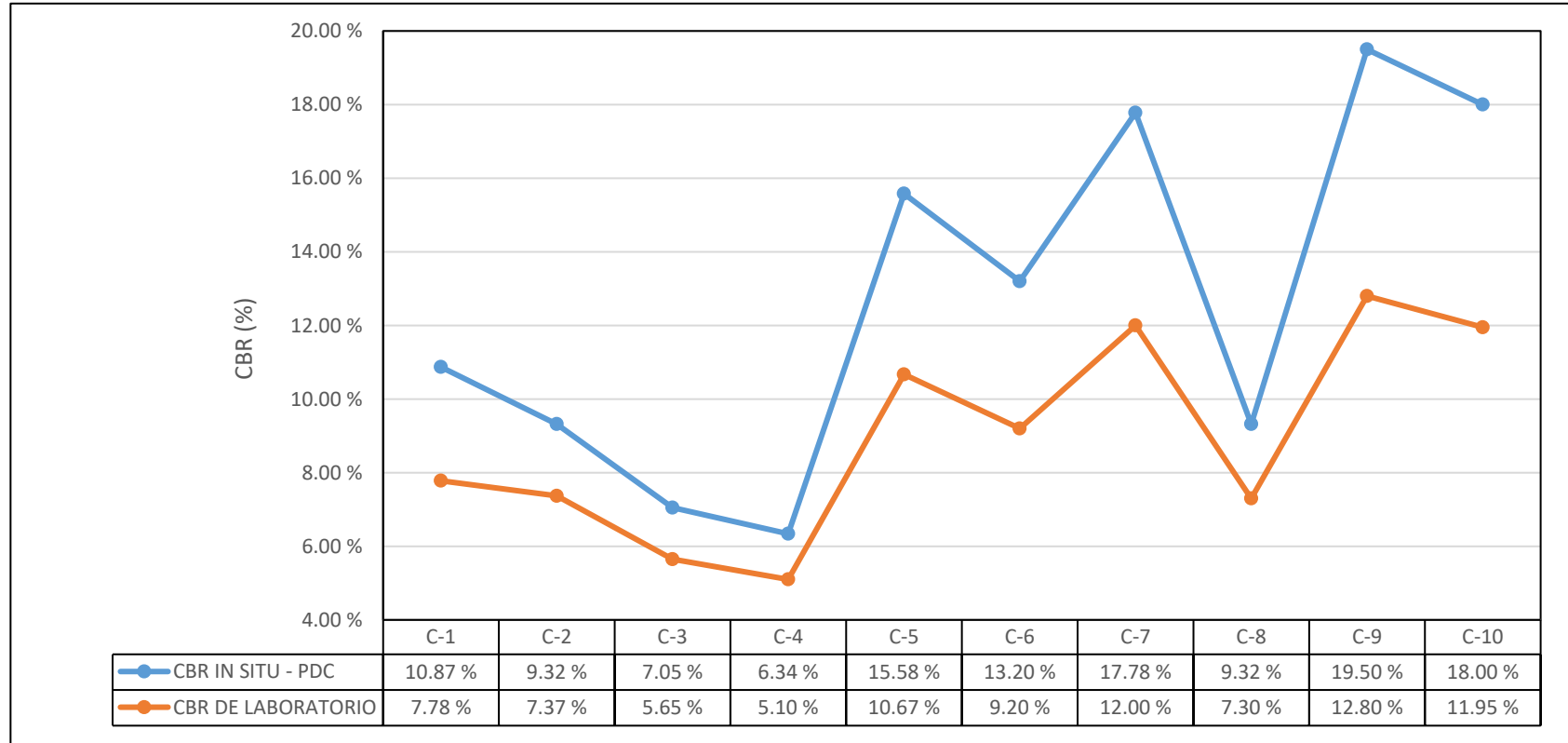
CALICATA	TIPO DE SUELO		CBR IN SITU (%) - PDC	CBR DE LABORATORIO	VARIACIÓN
	SUCS	AASTHO	ASTMD 6951	ASTMD 1883	
C-1	ML	A-5 (4)	10,87 %	7,78 %	39,72 %
C-2	ML	A-5 (5)	9,32 %	7,37 %	26,46 %
C-3	CL	A-6 (4)	7,05 %	5,65 %	24,78 %
C-4	CH	A-7-5 (12)	6,34 %	5,10 %	24,31 %
C-5	GC	A-2-6 (0)	15,58 %	10,67 %	46,02 %
C-6	GM	A-2-6 (0)	13,20 %	9,20 %	43,48 %
C-7	GC	A-2-6 (0)	17,78 %	12,00 %	48,17 %
C-8	ML	A-4 (2)	9,32 %	7,30 %	27,67 %
C-9	GC	A-2-6 (0)	19,50 %	12,80 %	52,34 %
C-10	GM	A-2-6 (0)	18,00 %	11,95 %	50,63 %

NOTA: Para realizar la comparación del índice CBR se tomó como referencia el último estrato de cada una de las calicatas en estudio.

De acuerdo al cuadro presentado se puede indicar que existe variación en los resultados obtenidos en campo y laboratorio; cabe indicar que la mayor variación se presenta en los suelos de grano grueso.

Figura 13.

Comparación de los resultados obtenidos in situ y laboratorio.



En la figura 13 se observa la variación existente entre los valores de CBR de laboratorio (ASTM D 1883) y el valor de CBR in situ obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono (ASTM D 6951); donde se puede apreciar que en los suelos de grano fino la variación es mucho menor en comparación con los suelos granulares.

4.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 12.

Valores de la capacidad de soporte de subrasante

CALICATA	PROGRESIVA (Km.)	CBR IN SITU (%)	CBR DE LABORATORIO (%)
C-1	0+020	10,87 %	7,78 %
C-2	0+500	9,32 %	7,37 %
C-3	1+000	7,05 %	5,65 %
C-4	1+500	6,34 %	5,10 %
C-5	2+000	15,58 %	10,67 %
C-6	2+500	13,20 %	9,20 %
C-7	3+000	17,78 %	12,00 %
C-8	3+500	9,32 %	7,30 %
C-9	4+000	19,50 %	12,80 %
C-10	4+100	18,00 %	11,95 %

4.2.3.1. Cálculo de las medidas de tendencia Central

Tabla 13.

Mediadas de tendencia central

PARAMETROS	CBR IN SITU (%) - PDC	CBR DE LABORATORIO
MEDIA	12,70 %	8,98 %
MEDIANA	12,04 %	8,49 %

4.2.3.2. Cálculo de las medidas de dispersión

Tabla 14.

Medidas de dispersión

PARAMETROS	CBR IN SITU (%) - PDC	CBR DE LABORATORIO (%)
CBR MÍNIMO (%)	6,34 %	5,10 %
CBR MÁXIMO (%)	19,50 %	12,80 %
RANGO (%)	13,16 %	7,70 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	4,80 %	2,76 %
VARIANZA (%)	23,03 %	7,60 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,38	0,31
CONFIABILIDAD (%)	95	95

4.2.3.3. Medidas de distribución (Datos Agrupados)

4.2.3.3.1. Decisión – Normalidad de Datos

En función a los datos del coeficiente de asimetría y coeficiente de Curtosis detallados en la tabla 15, los datos si se ajustan a una distribución normal.

Tabla 15.

Parámetros de evaluación de normalidad

PARAMETROS	CBR IN SITU (%) - PDC
Coeficiente de Asimetría	0,45 %
Coeficiente de Curtosis	-0,32 %

Fuente: Ver apéndice G

4.2.3.4. Prueba Estadística T de Student

Se tiene los siguientes datos a evaluar:

PARAMETROS	CBR IN SITU (%) - PDC	CBR DE LABORATORIO
Desviación estándar (σ)	4,80 %	2,76 %
Media (\bar{x})	12,696 %	8,982 %
N	10,00	10,00

4.2.3.5. Planteamiento de Hipótesis

A continuación, procedemos a identificar hipótesis nula y alternativa
Sea:

H_0 : No existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en campo (PDC) y los resultados obtenidos en laboratorio

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

H_A : Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en campo (PDC) y los resultados obtenidos en laboratorio

$$H_A: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

4.2.3.6. Decisión estadística

Tabla 16.

Resultados de análisis estadístico

Parámetro	Grados de libertad	T Calculado	T tabular al 0,05 (5 %)
Estadístico de prueba	18	2,122	1,7341

Fuente: elaboración propia

Según los resultados de la prueba de la T- Student, se rechaza la hipótesis nula, dado que el valor del T calculado (2,122) es menor que el T tabular (1,7341) a un nivel de significancia del 5%.

4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

En base a los resultados obtenidos en las secciones precedentes y de acuerdo a la hipótesis planteada se afirma que los valores de CBR obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono son mayores a los valores obtenidos en laboratorio en más de 5%, en la sub rasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca. Se evidencia que en todos los casos no ha sucedido lo supuesto en la hipótesis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El suelo de subrasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca según sus características físicas está conformado básicamente por un primer estrato conformado por un relleno controlado conformado por, grava, arena y material cementante; se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad, Luego, existe un segundo estrato de suelo que según sus propiedades físicas de acuerdo a la norma AASTHO M 145 - 91 se clasifica en A-2-6 (0), A-4 (2), A-5 (5), A-6 (4) y A-7-5 (12).
- Con la utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) se obtuvo la medida de la resistencia del suelo, donde cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC.
- En suelos de grano fino la variación del índice CBR obtenido in situ es menor a 40% con respecto al valor de CBR obtenido en laboratorio, Por otro lado, los suelos de grano grueso la variación del índice CBR obtenido in situ es mayor a 40% con respecto al valor de CBR obtenido en laboratorio.
- No se cumple la hipótesis planteada en el presente estudio de investigación, ya que los valores de CBR obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono son mayores a los valores obtenidos en laboratorio en más de 5%, en la sub rasante de la nueva vía de evitamiento alterna de la ciudad de Cajamarca.

- La capacidad de resistencia del suelo está en función a parámetros tales como: grado de compacidad, contenido de Humedad y principalmente del tipo de suelo existente.
- La utilización del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), no implica dejar de realizar ensayos de CBR de laboratorio si no que permite obtener mayor información de las características del suelo de cimentación dado que el equipo PDC es un instrumento económico, de fácil transporte y utilidad.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar una mayor cantidad de ensayos en diferentes tipos de suelo con el objetivo de obtener una correlación de los resultados de CBR obtenidos con el PDC y los resultados de CBR obtenidos en laboratorio para cada tipo de suelo.
- Evaluar el grado de incidencia de factores tales como, granulometría, contenido de humedad, grado de compacidad y profundidad de auscultación en los resultados obtenidos con el Penetrómetro Dinámica de Cono y de ser necesario evaluar un factor de corrección para cada caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beskid, J., & Martínez, R. (2004). *Estudio comparativo de los resultados del California Bearing Ratio (CBR) obtenidos en laboratorio y con un Penetrómetro Dinámico*. Maracaibo.
- Braja M., D. (2012). *Fundamento de la Ingeniería de Cimentaciones* (Séptima ed.). Mexico.
- Contreras, J., & García, A. (2019). *Correlación del Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C.) con ensayo de Relación de Soporte de California (C.B.R.) para suelos en la localidad de Engatíva de la ciudad Bogotá, utilizando la norma del Intituto Nacional de vías*. Colombia.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 650 p(5). Mexico: Limusa.
- Injante, H. E. (2012). *Resistencia In situ de subrasante utilizando Penetrómetro Dinámico de Cono en la ciudad de Ica*. LIMA.
- Lázares, J. G. (2007). *Modelación Géotécnica de pavimentos flexibles con fines de analisis y diseño en el Perú*. Obtenido de:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/809/1/gutierrez_lj.pdf
- Liben, M., & Ishai, I. (1988). *Relación entre el CBR in-situ y varios ensayos de penetración*.
- Medina, P., Barra, E., & Guzmán, L. (2008). *Gía de Laboratorio de Geotecnia*. Chile.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Colombia: Stella Valbuena de Fierro.
- Osorio, J., & Casas, a. (2011). *Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba*. Bogotá.
- Tupia, C. A., & Alva, J. E. (2001). *Evaluación de la Capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de Penetración Dinámica. XI Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto*. LIMA.

APÉNDICES

APÉNDICE A

**ENSAYOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
(A.S.T.M. D 422) Y LIMITES DE ATTEMBERG
(A.S.T.M. D 4318)**

Tabla 17.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 01.

FECHA DE ENSAYO: 04/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,70-1,00			
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P. RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA				
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		9705,30	
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		7405,90	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		2299,40	
1 ½"	38,10	315,00	3,37	3,37	96,63	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		7087,00	
1"	25,40	476,00	5,09	8,45	91,55	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		2271,00	
¾"	19,05	321,00	3,43	11,88	88,12	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		9358,00	
½"	12,70	294,00	3,14	15,02	84,98	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216			
3/8"	9,52	351,00	3,75	18,78	81,22				
¼"	6,35	210,00	2,24	21,02	78,98	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :	42,00%
N°4	4,75	304,00	3,25	24,27	75,73	PESO HUMEDO + TARA (gr)	509,30	LIMITE PLASTICO :	32,00%
TOTAL	W G =	2271,00	gr			PESO SECO + TARA (gr)	491,30	INDICE PLASTICO :	10,00%
ANALISIS FRACCION FINA						PESO DEL AGUA (gr)		18,00	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO SECO (gr)		491,30	
PESO ENSAYO PORCION SECA :						C. HUMEDAD (%)		3,66	
N 10	2,00	69,40	5,87	30,14	69,86	CLASIFICACION A.A.S.H.T.O. :			
N 20	0,85	32,00	2,71	32,85	67,15	A-5 (4)			
N 30	0,60	22,00	1,86	34,71	65,29				
N 40	0,43	20,00	1,69	36,40	63,60				
N 60	0,25	27,00	2,28	38,68	61,32				
N 100	0,15	42,00	3,55	42,23	57,77				
N 200	0,08	55,00	4,65	46,89	53,11				
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-				
TOTAL									

Figura 14.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-1. M-1.

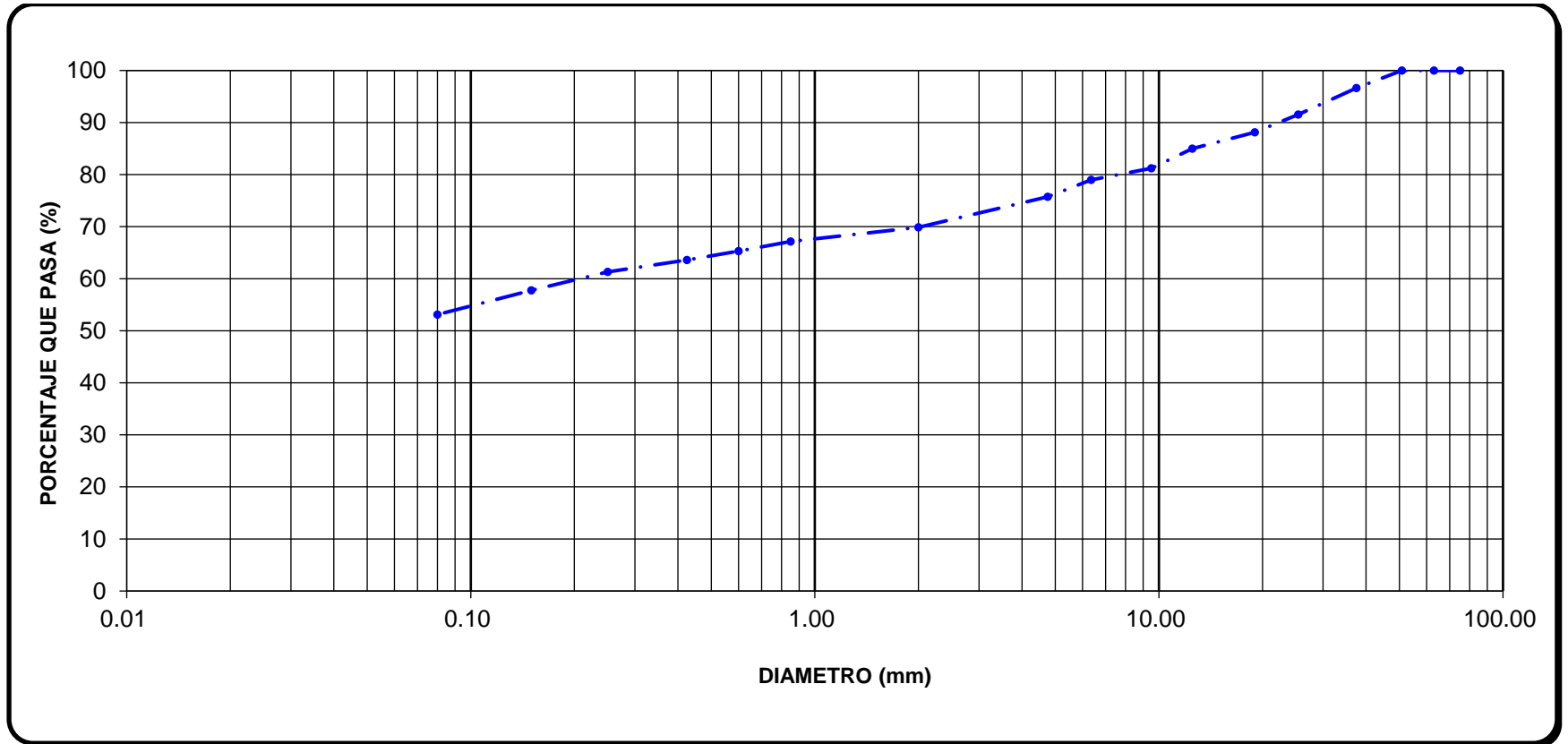


Tabla 18.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 01.

LÍMITE LIQUIDO				LÍMITE PLASTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	50,34	50,00	51,71	35,65	35,60	
Wt+ M. Seca	43,70	42,00	42,30	33,02	33,06	
W agua	6,64	8,00	9,41	2,63	2,54	
W tara	25,49	23,17	23,21	24,77	25,19	
W M. Seca	18,21	18,83	19,09	8,25	7,87	
W(%)	36,46%	42,49%	49,29%	31,88%	32,27%	32,08%
N. GOLPES	32	24	17			
LÍMITE LÍQUIDO				42 %		
LÍMITE PLÁSTICO				32 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				10 %		

Figura 15.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 01.

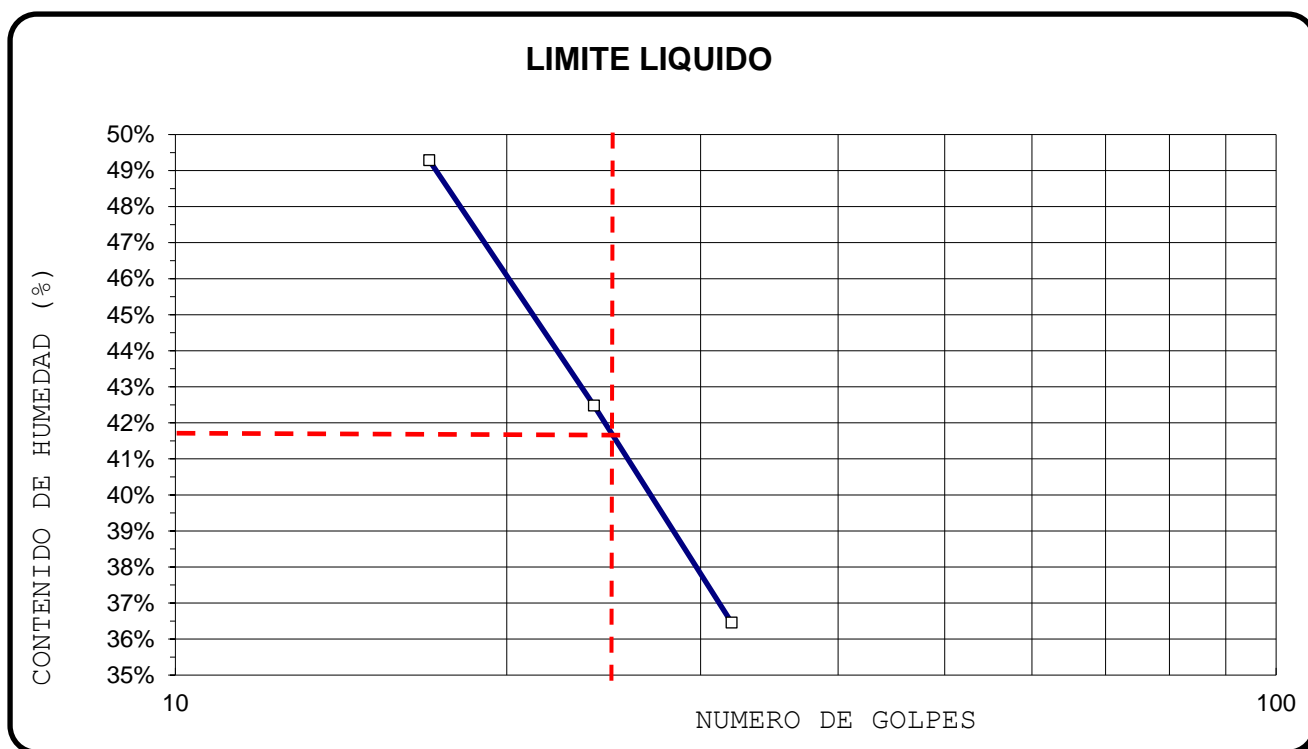


Tabla 19.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 02.

FECHA DE ENSAYO: 08/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0.70-1.00			
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P. RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA				
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		9164,90	
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		7154,10	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		2010,80	
1 ½"	38,10	264,00	2,99	2,99	97,01	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		6846,00	
1"	25,40	521,00	5,90	8,89	91,11	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		1986,00	
¾"	19,05	225,00	2,55	11,44	88,56	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		8832,00	
½"	12,70	215,00	2,43	13,87	86,13	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318			
3/8"	9,52	198,00	2,24	16,11	83,89				
¼"	6,35	220,00	2,49	18,60	81,40	TARA N°		1	
N°4	4,75	343,00	3,88	22,49	77,51	PESO HUMEDO + TARA (gr)		LIMITE LIQUIDO :	
TOTAL	W G =	1986,00				PESO SECO + TARA (gr)		44,00%	
ANALISIS FRACCION FINA						PESO TARA (gr)		34,00%	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO DEL AGUA (gr)		INDICE PLASTICO :	
PESO ENSAYO PORCION SECA :						PESO SECO (gr)		10,00%	
N 10	2,00	78,00	6,07	28,56	71,44	C. HUMEDAD (%) 4,91 CLASIFICACION A.A.S.H.T.O. : A-5 (5)			
N 20	0,85	35,00	2,73	31,29	68,71				
N 30	0,60	22,00	1,71	33,00	67,00				
N 40	0,43	18,00	1,40	34,40	65,60				
N 60	0,25	32,00	2,49	36,89	63,11				
N 100	0,15	40,00	3,12	40,01	59,99				
N 200	0,08	50,00	3,89	43,90	56,10				
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-				
TOTAL									

Figura 16.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-2, M-1.

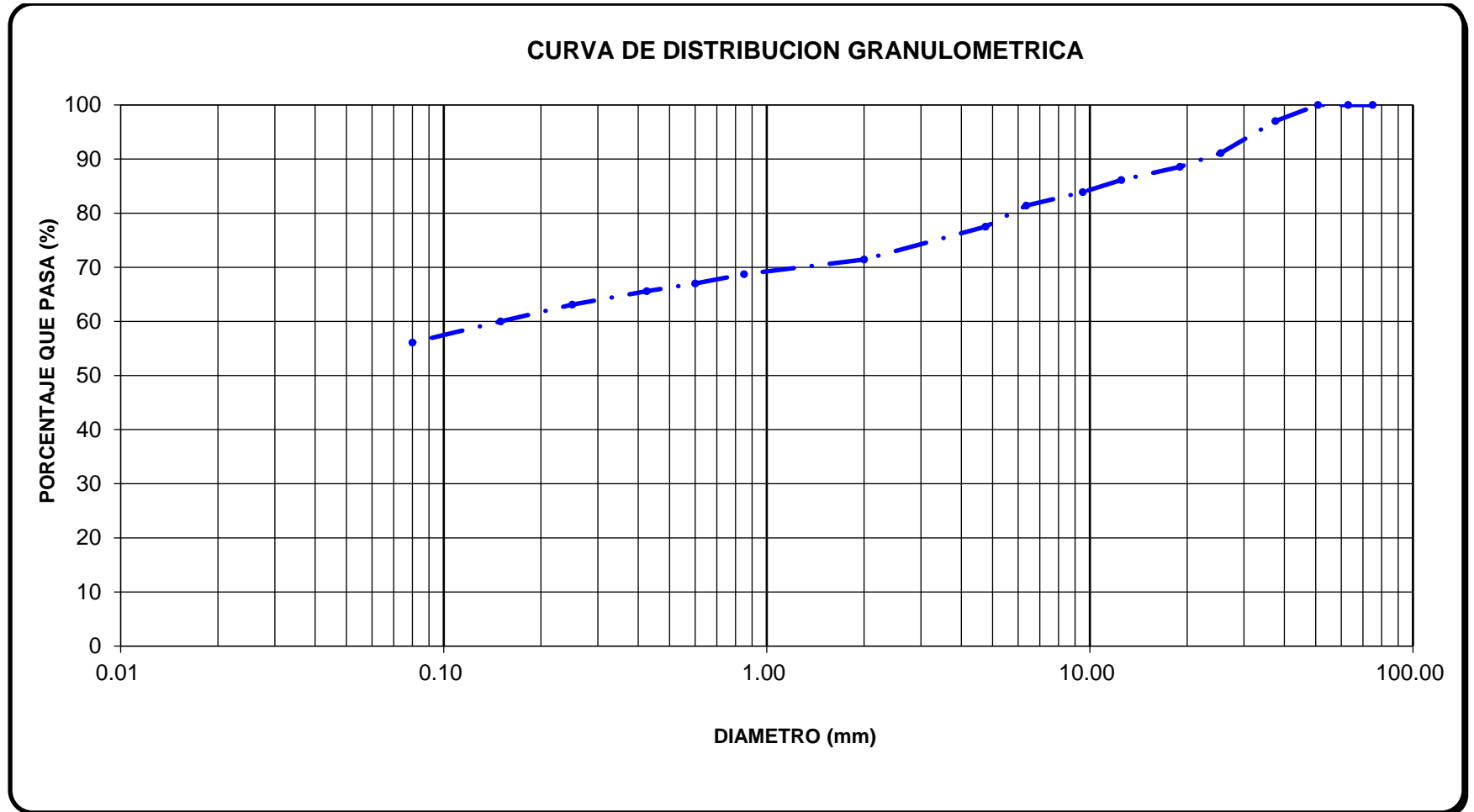


Tabla 20.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 02.

LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO			
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	37,80	38,80	40,00	34,90	34,20	
Wt+ M. Seca	33,18	33,47	34,10	32,06	31,68	
W agua	4,62	5,33	5,90	2,84	2,52	
W tara	21,78	21,89	22,36	23,88	24,13	
W M. Seca	11,40	11,58	11,74	8,18	7,55	
W(%)	40,53%	46,03%	50,28%	34,72%	33,38%	34,05%
N. GOLPES	33	22	16			
LÍMITE LÍQUIDO				44 %		
LÍMITE PLÁSTICO				34 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				10 %		

Figura 17.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 02.



Tabla 21.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 03.

FECHA DE ENSAYO: 12/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,60-1,00			
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P. RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA	DE SECADO			
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		10963,10	
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		8099,60	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		2863,50	
1 ½"	38,10	402,00	3,83	3,83	96,17	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		7673,00	
1"	25,40	482,00	4,59	8,42	91,58	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		2827,00	
¾"	19,05	404,00	3,85	12,27	87,73	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		10500,00	
½"	12,70	502,00	4,78	17,05	82,95	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318			
3/8"	9,52	296,00	2,82	19,87	80,13				
¼"	6,35	324,00	3,09	22,95	77,05	TARA N°		1	
N°4	4,75	417,00	3,97	26,92	73,08	PESO HUMEDO + TARA (gr)		514,60	
TOTAL	W G =	2827,00				PESO SECO + TARA (gr)		492,85	
ANALISIS FRACCION FINA						PESO TARA (gr)		0,00	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO DEL AGUA (gr)		21,75	
PESO ENSAYO PORCION SECA :						PESO SECO (gr)		492,85	
N 10	2,00	45,00	3,65	30,58	69,42	C. HUMEDAD (%)		4,41	
N 20	0,85	37,00	3,00	33,58	66,42	CLASIFICACION A.A.S.H.T.O. :		A-6 (4)	
N 30	0,60	42,00	3,41	36,99	63,01	LIMITE LIQUIDO : 33,00% LIMITE PLASTICO : 19,00% INDICE PLASTICO : 14,00%			
N 40	0,43	34,40	2,79	39,79	60,21				
N 60	0,25	32,00	2,60	42,38	57,62				
N 100	0,15	27,00	2,19	44,58	55,42				
N 200	0,08	38,10	3,09	47,67	52,33				
CAZOLETA	-, -	-, -	-, -	-, -	-, -				
TOTAL									

Figura 18.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-3, M-1.

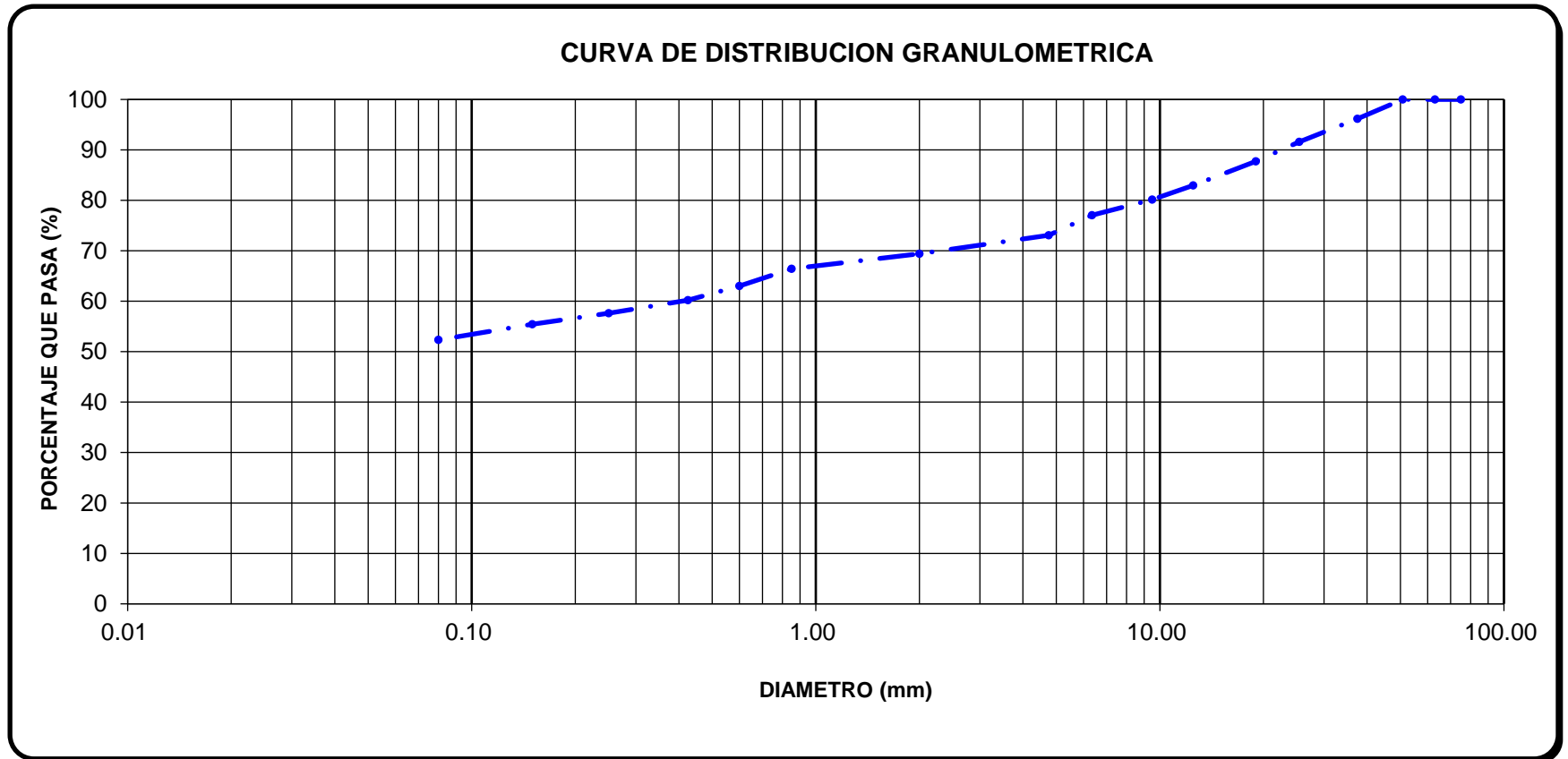


Tabla 22.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 03.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	40,56	41,21	41,20	34,78	34,81	
Wt+ M. Seca	36,79	37,16	36,96	33,29	33,35	
W agua	3,77	4,05	4,24	1,49	1,46	
W tara	24,65	24,93	25,11	25,33	25,57	
W M. Seca	12,14	12,23	11,85	7,96	7,78	
W(%)	31,05%	33,12%	35,78%	18,72%	18,77%	18,74%
N. GOLPES	35	25	15			
LÍMITE LÍQUIDO				33 %		
LÍMITE PLÁSTICO				19 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				14 %		

Figura 19.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 03.

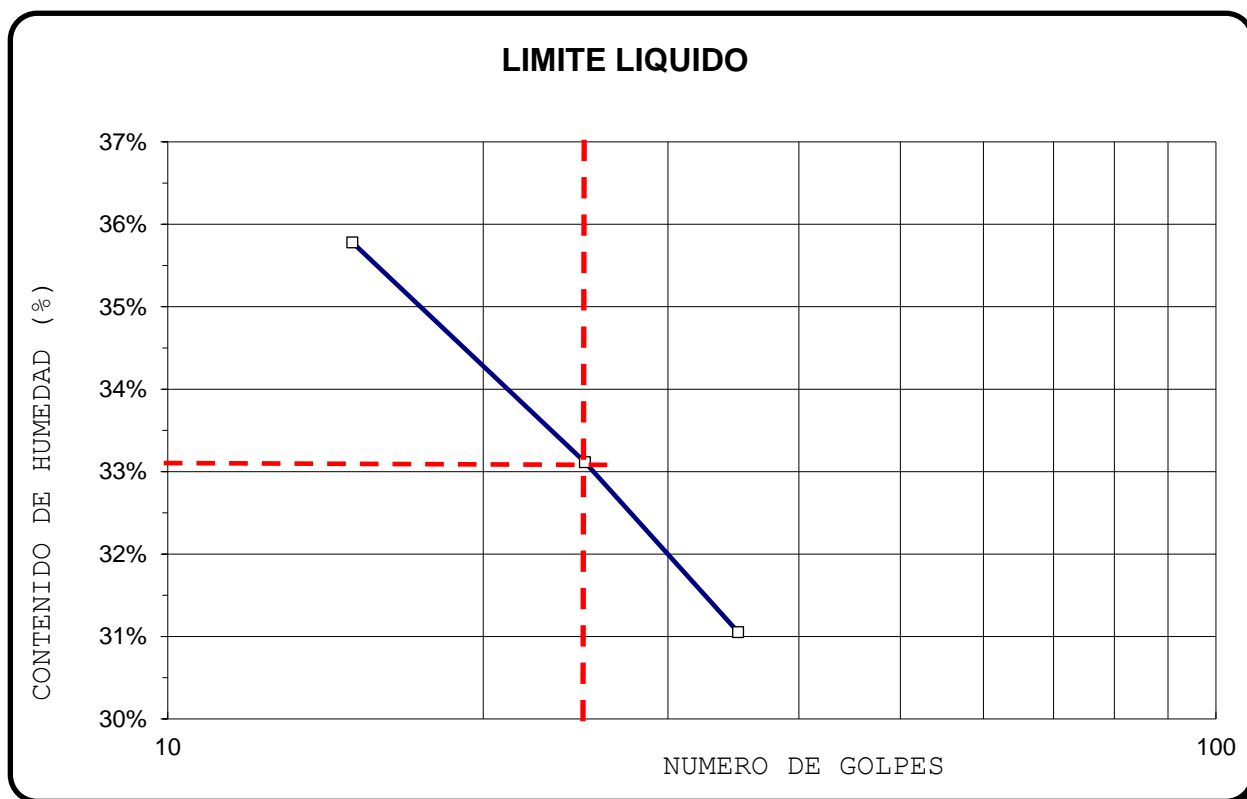


Tabla 23.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 04.

FECHA DE ENSAYO: 16/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,60-1,00			
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P. RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA	DE SECADO			
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		13640,20	
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		11680,20	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		1960,00	
1 ½"	38,10	332,00	2,55	2,55	97,45	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		11065,00	
1"	25,40	319,00	2,45	5,01	94,99	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		1935,00	
¾"	19,05	321,00	2,47	7,48	92,52	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		13000,00	
½"	12,70	282,00	2,17	9,65	90,35	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318			
3/8"	9,52	271,00	2,08	11,73	88,27				
¼"	6,35	210,00	1,62	13,35	86,65	TARA N°		1	
N°4	4,75	200,00	1,54	14,88	85,12	PESO HUMEDO + TARA (gr)		523,90	
TOTAL	W G =	1935,00				PESO SECO + TARA (gr)		487,30	
ANALISIS FRACCION FINA						PESO TARA (gr)		0,00	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO DEL AGUA (gr)		36,60	
						PESO SECO (gr)		487,30	
PESO ENSAYO PORCION SECA :						C. HUMEDAD (%)		7,51	
N 10	2,00	93,20	7,93	22,82	77,18	LIMITE LIQUIDO :		58,00%	
N 20	0,85	45,40	3,86	26,68	73,32	LIMITE PLASTICO :		30,00%	
N 30	0,60	51,30	4,37	31,05	68,95	INDICE PLASTICO :		28,00%	
N 40	0,43	49,70	4,23	35,28	64,72	CLASIFICACION A.A.S.T.H.O. : A-7-5 (12)			
N 60	0,25	45,28	3,85	39,13	60,87				
N 100	0,15	38,52	3,28	42,41	57,59				
N 200	0,08	48,50	4,13	46,54	53,46				
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-				
TOTAL									

Figura 20.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-4, M-1.

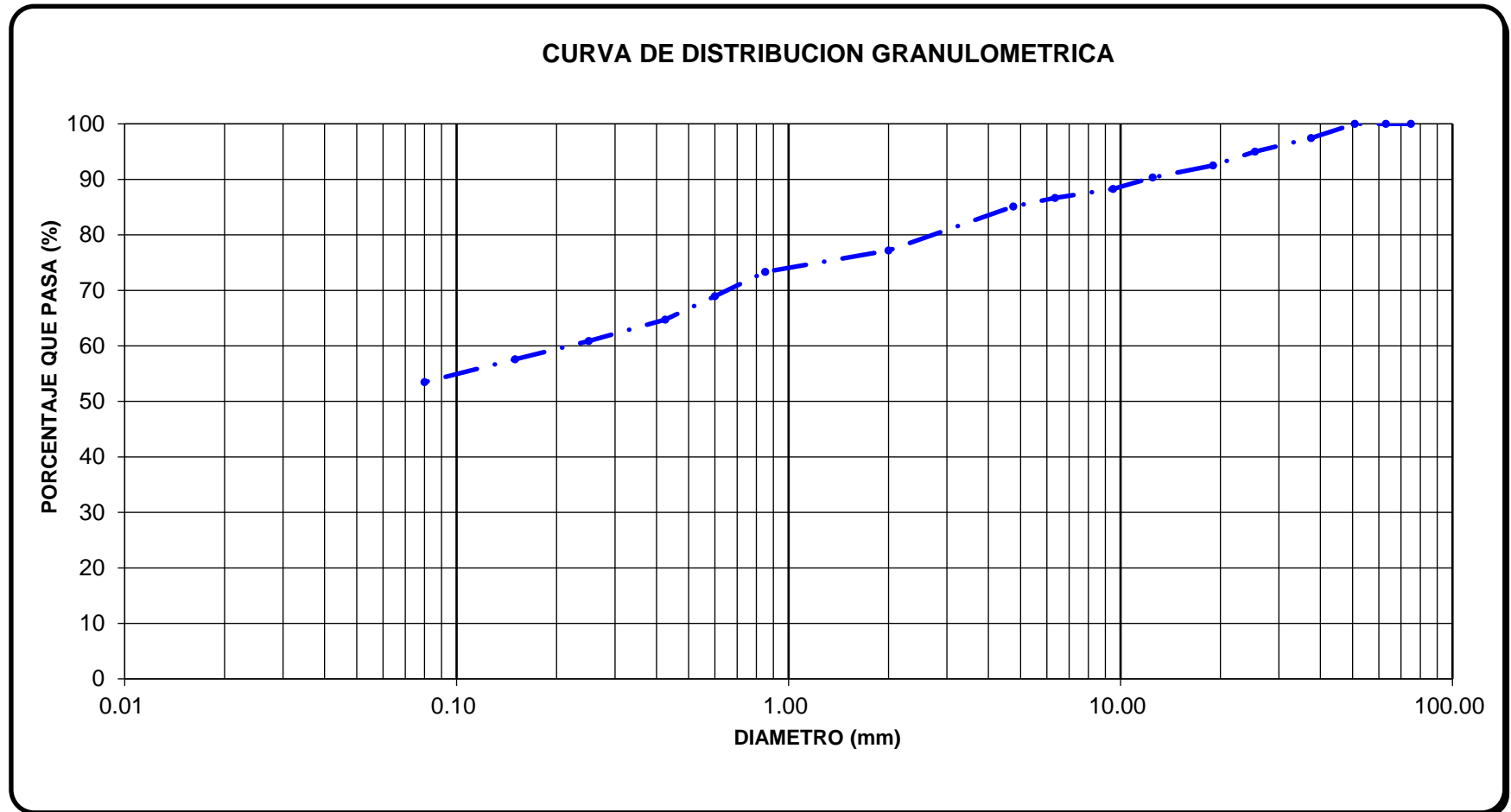


Tabla 24.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 04.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	42,37	44,00	44,17	34,42	34,50	
Wt+ M. Seca	36,58	37,27	36,02	31,97	32,12	
W agua	5,79	6,73	8,15	2,45	2,38	
W tara	25,21	25,78	24,11	23,89	24,21	
W M,Seca	11,37	11,49	11,91	8,08	7,91	
W(%)	50,92%	58,57%	68,43%	30,3%	30,1%	30,2%
N. GOLPES	34	24	15			
LÍMITE LÍQUIDO				58 %		
LÍMITE PLÁSTICO				30 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				28 %		

Figura 21.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 04.

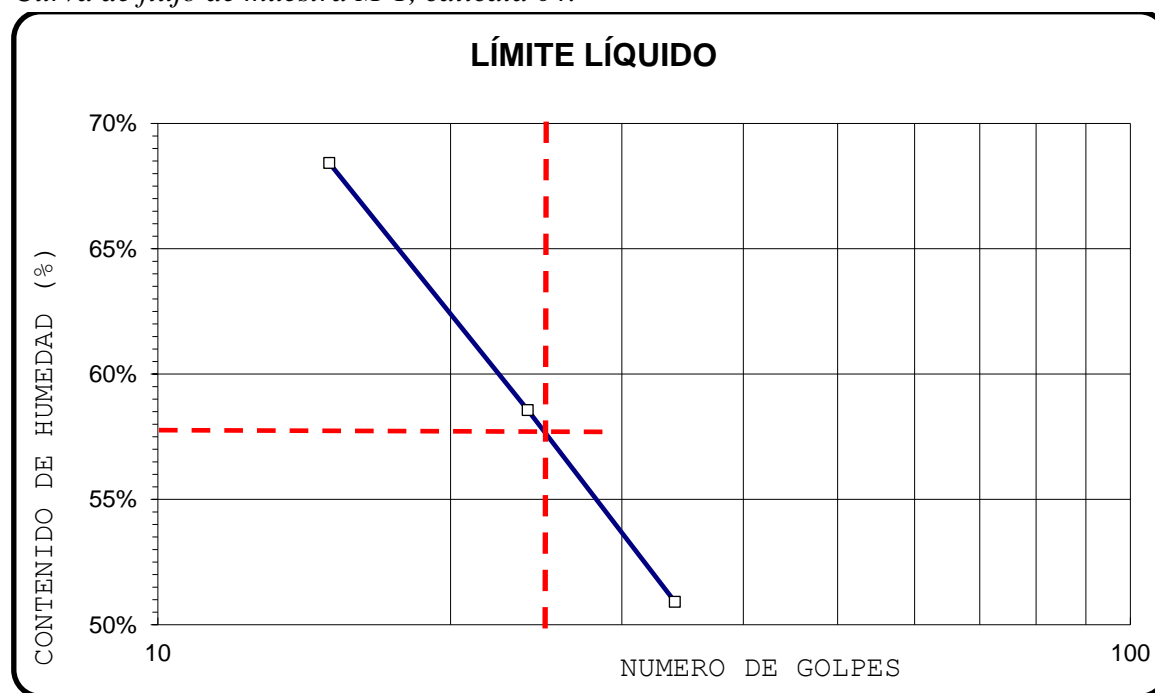


Tabla 25.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 05.

FECHA DE ENSAYO: 20/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,20-1,00 m			
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P,RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA				
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		11481,00	
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		6335,60	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5145,40	
1 ½"	38,10	735,00	6,54	6,54	93,46	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		6120,00	
1"	25,40	1131,00	10,06	16,60	83,40	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		5120,00	
¾"	19,05	724,00	6,44	23,04	76,96	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		11240,00	
½"	12,70	1000,00	8,90	31,94	68,06	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216			
3/8"	9,52	486,00	4,32	36,26	63,74				
¼"	6,35	484,00	4,31	40,57	59,43	TARA N°		1	
N°4	4,75	560,00	4,98	45,55	54,45	PESO HUMEDO + TARA (gr)		489,30	
TOTAL	W G =	5120,00				PESO SECO + TARA (gr)		470,50	
ANALISIS FRACCION FINA						PESO TARA (gr)		0,00	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO DEL AGUA (gr)		18,80	
PESO ENSAYO PORCION SECA :						PESO SECO (gr)		470,50	
N 10	2,00	116,40	7,46	53,01	46,99	C. HUMEDAD (%)		4,00	
N 20	0,85	108,20	6,93	59,94	40,06	CLASIFICACION A.A.S.H.T.O. :		A-2-6 (0)	
N 30	0,60	107,10	6,86	66,80	33,20	LIMITE LIQUIDO : 29,00%			
N 40	0,43	107,00	6,85	73,65	26,35				
N 60	0,25	53,10	3,40	77,05	22,95	INDICE PLASTICO : 11,00%			
N 100	0,15	55,10	3,53	80,58	19,42				
N 200	0,08	62,00	3,97	84,56	15,44	TOTAL			
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-				
TOTAL						TOTAL			

Figura 22.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-5, M-1.

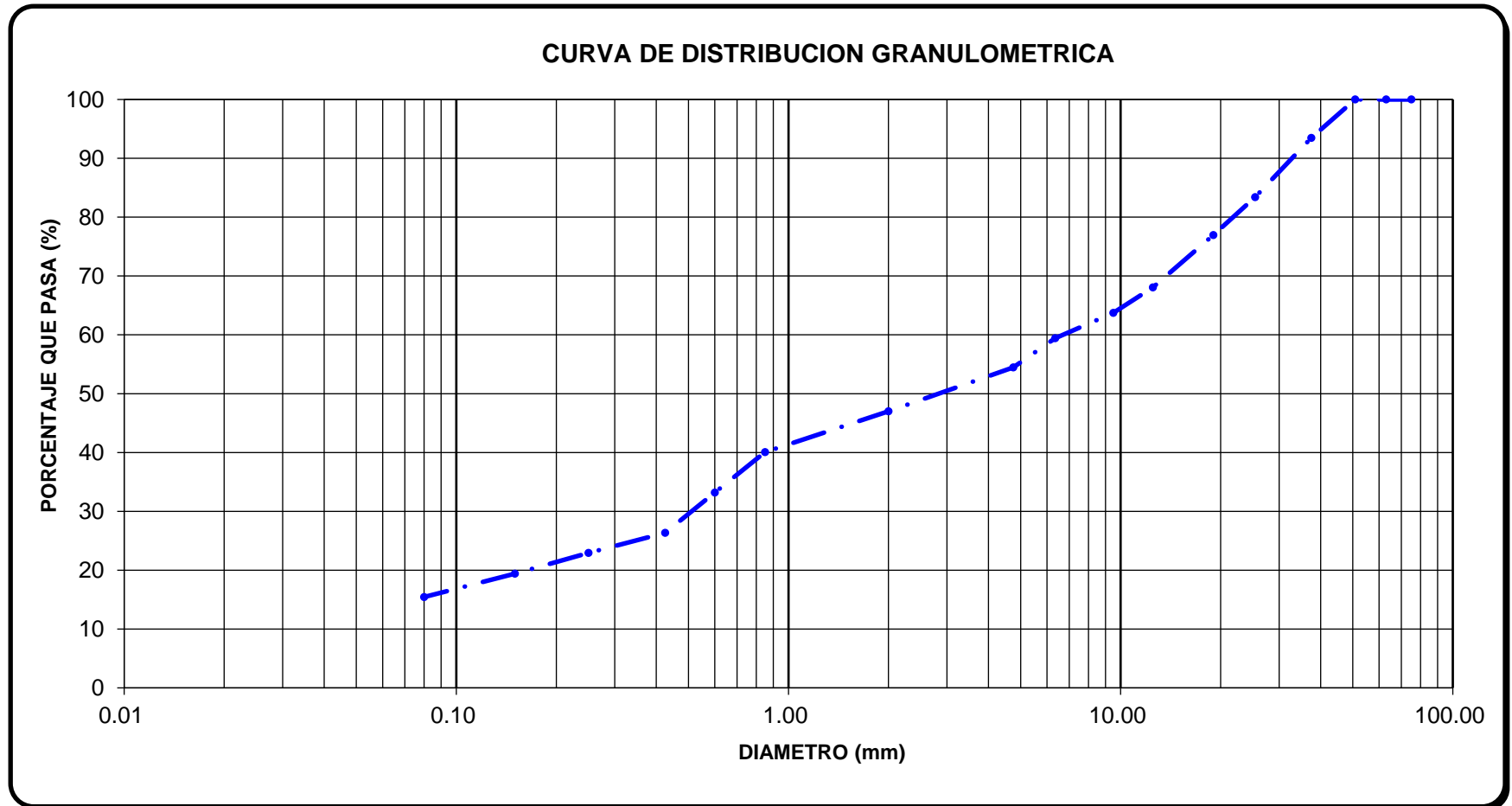


Tabla 26.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 05.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	41,90	41,49	38,01	33,03	33,89	
Wt+ M. Seca	38,63	37,92	34,28	31,59	32,43	
W agua	3,27	3,57	3,73	1,44	1,46	
W tara	26,84	25,79	22,37	23,65	24,12	
W M. Seca	11,79	12,13	11,91	7,94	8,31	
W(%)	27,74%	29,43%	31,32%	18,14%	17,57%	17,85%
N. GOLPES	34	24	16			
LÍMITE LÍQUIDO				29 %		
LÍMITE PLÁSTICO				18 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				11 %		

Figura 23.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 05.

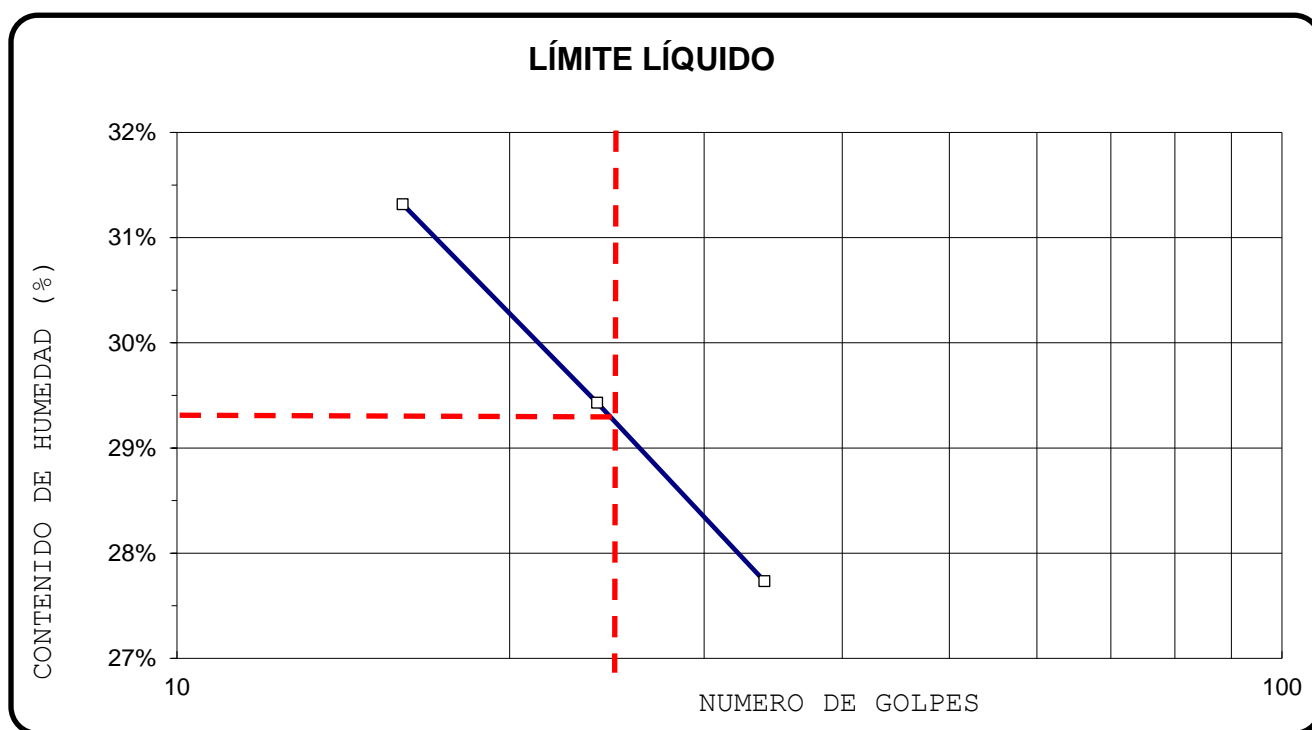


Tabla 27.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 06.

FECHA DE ENSAYO: 24/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,20-1,00 m				
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL				
TAMIZ		P. RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA	AMBIENTE	60° C	110° C	
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA	DE SECADO				
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		9784,60		
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		5888,40		
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		3896,20		
1 ½"	38,10	328,00	3,43	3,43	96,57	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		5688,00		
1"	25,40	462,00	4,83	8,26	91,74	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		3877,00		
¾"	19,05	503,00	5,26	13,52	86,48	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		9565,00		
½"	12,70	928,00	9,70	23,22	76,78	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216				
3/8"	9,52	484,00	5,06	28,28	71,72					LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318
¼"	6,35	352,00	3,68	31,96	68,04	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :	36,00%	
N°4	4,75	820,00	8,57	40,53	59,47	PESO HUMEDO + TARA (gr)	523,50	LIMITE PLASTICO :	25,00%	
TOTAL	W G =	3877,00				PESO SECO + TARA (gr)		498,80	INDICE PLASTICO :	11,00%
ANALISIS FRACCION FINA						PESO DEL AGUA (gr)		24,70	CLASIFICACION A.A.S.H.T.O. : A-2-6 (0)	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						PESO SECO (gr)		498,80		
PESO ENSAYO PORCION SECA :						C. HUMEDAD (%)		4,95		
N 10	2,00	88,30	6,52	47,06	52,94					
N 20	0,85	89,60	6,62	53,67	46,33					
N 30	0,60	56,30	4,16	57,83	42,17					
N 40	0,43	54,50	4,03	61,86	38,14					
N 60	0,25	70,20	5,19	67,05	32,95					
N 100	0,15	70,60	5,22	72,26	27,74					
N 200	0,08	57,70	4,26	76,52	23,48					
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-					
TOTAL										

Figura 24.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-6, M-1.

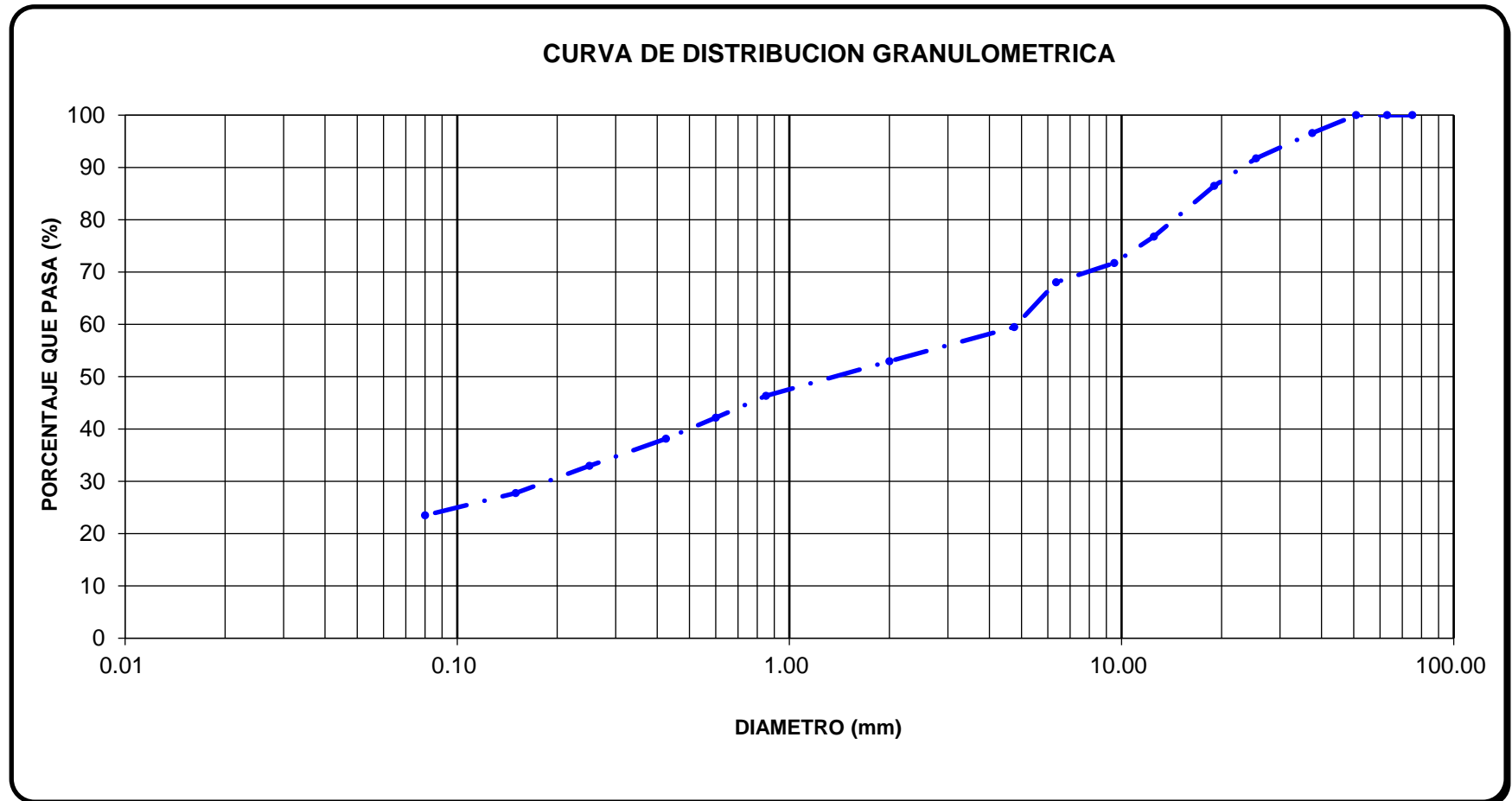


Tabla 28.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 06.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	40,70	40,80	42,32	34,59	35,54	
Wt+ M. Seca	36,82	36,45	37,32	32,62	33,59	
W agua	3,88	4,35	5,00	1,97	1,95	
W tara	24,78	24,83	25,17	24,66	25,79	
W M. Seca	12,04	11,62	12,15	7,96	7,80	
W(%)	32,23%	37,44%	41,15%	24,75%	25,00%	24,87%
N. GOLPES	34	22	16			
LÍMITE LÍQUIDO				36 %		
LÍMITE PLÁSTICO				25 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				11 %		

Figura 25.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 06.

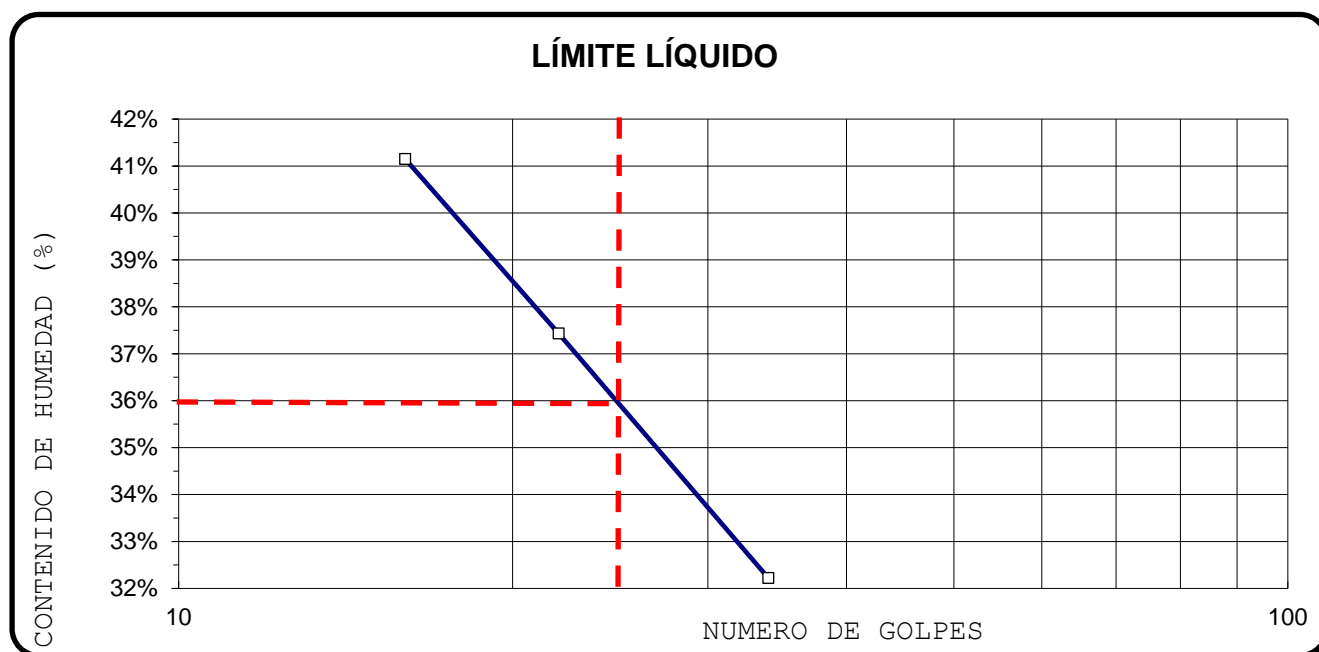


Tabla 29.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 07.

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,20-1,00 m			
ANÁLISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P. RET PARCIAL	PORCENTAJE RET. PARCIAL	PORCENTAJE RET. ACUM	% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)								
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		10298,90	
2 1/2"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		5182,30	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5116,60	
1 1/2"	38,10	812,00	8,09	8,09	91,91	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		4953,00	
1"	25,40	1074,00	10,70	18,80	81,20	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		5081,00	
3/4"	19,05	864,00	8,61	27,41	72,59	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		10034,00	
1/2"	12,70	932,00	9,29	36,70	63,30				
3/8"	9,52	534,00	5,32	42,02	57,98				
1/4"	6,35	425,00	4,24	46,25	53,75				
N°4	4,75	440,00	4,39	50,64	49,36				
TOTAL	W G =	5081,00							
ANÁLISIS FRACCION FINA						CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216		LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :				0,056401					
PESO ENSAYO PORCION SECA :				875,20					
N 10	2,00	173,40	9,78	60,42	39,58	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :	30,00%
N 20	0,85	85,70	4,83	65,25	34,75	PESO HUMEDO + TARA (gr)	523,70	LIMITE PLASTICO :	18,00%
N 30	0,60	84,80	4,78	70,03	29,97	PESO SECO + TARA (gr)	499,20	INDICE PLASTICO :	12,00%
N 40	0,43	88,20	4,97	75,01	24,99	PESO TARA (gr)	0,00		
N 60	0,25	58,20	3,28	78,29	21,71	PESO DEL AGUA (gr)	24,50		
N 100	0,15	61,60	3,47	81,77	18,23	PESO SECO (gr)	499,20		
N 200	0,08	62,50	3,53	85,29	14,71				
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-	C. HUMEDAD (%)	4,91	CLASIFICACION A. :	A-2-6 (0)
TOTAL									

Figura 26.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-7, M-1.

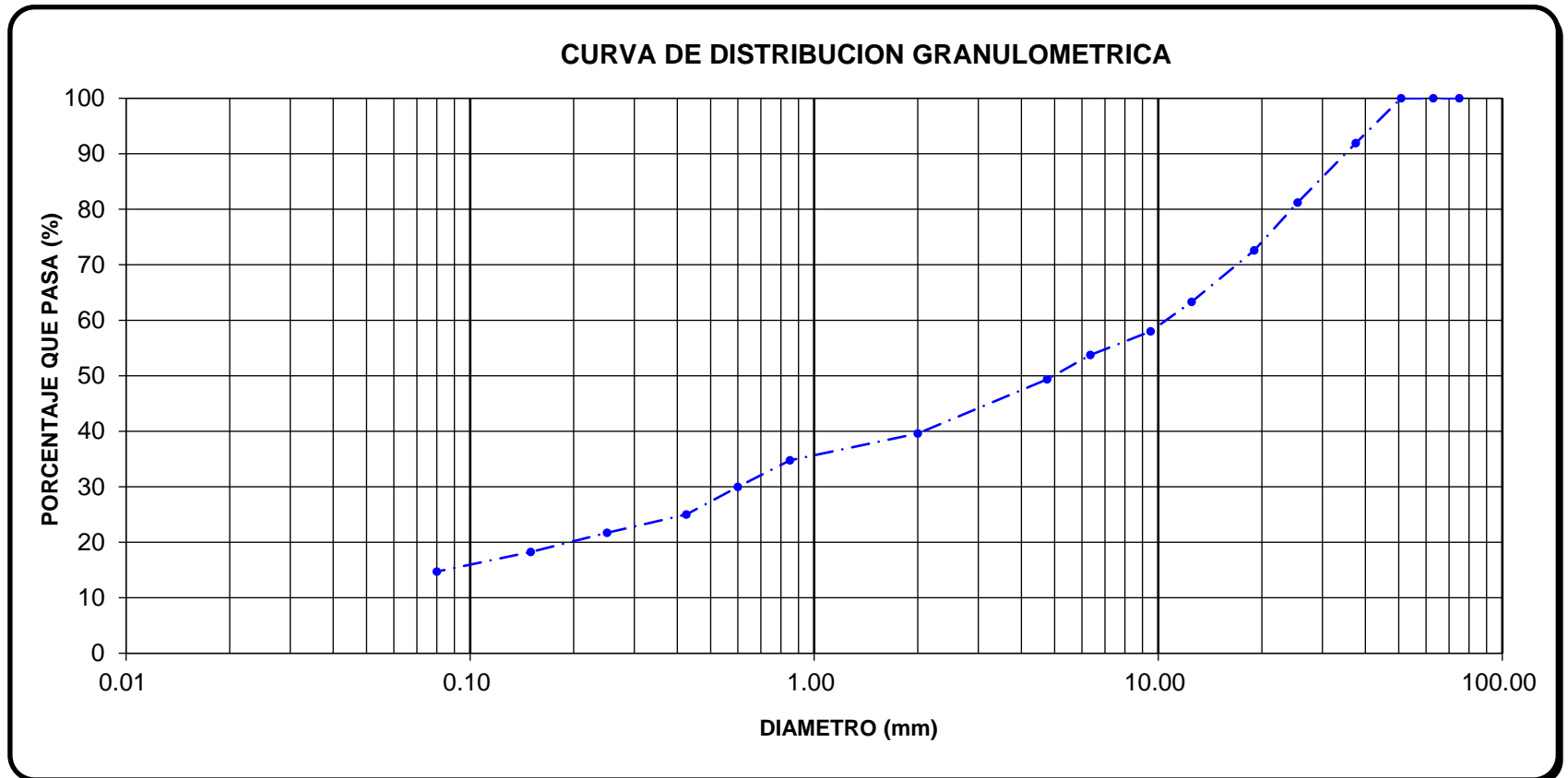


Tabla 30.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 07.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	42,65	42,04	42,08	36,12	35,89	
Wt+ M. Seca	39,22	38,47	38,32	34,65	34,49	
W agua	3,43	3,57	3,76	1,47	1,40	
W tara	26,97	26,56	26,68	26,39	26,87	
W M. Seca	12,25	11,91	11,64	8,26	7,62	
W(%)	28,00%	29,97%	32,30%	17,80%	18,37%	18,08%
N. GOLPES	33	24	16			
LÍMITE LÍQUIDO				30 %		
LÍMITE PLÁSTICO				18 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				12 %		

Figura 27.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 07.

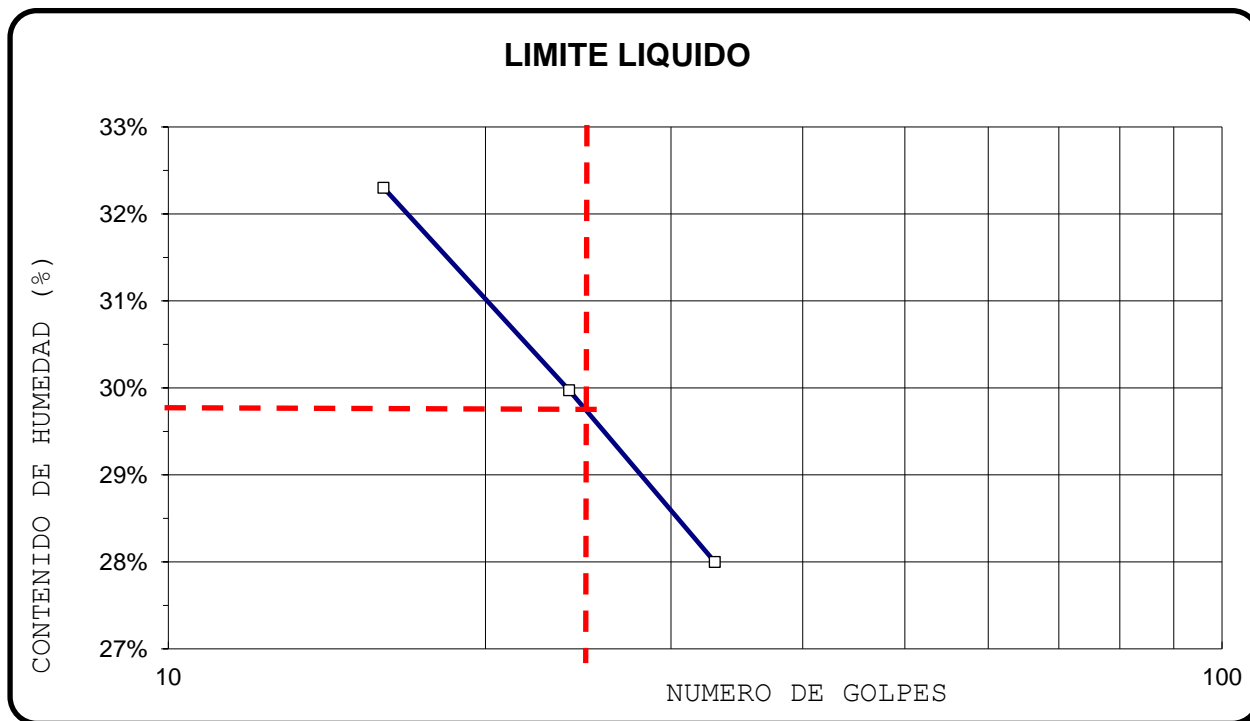


Tabla 31.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 08.

FECHA DE ENSAYO: 02/12/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,60-1,00 m							
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL							
TAMIZ		P. RET PARCIAL	PORCENTAJE RET. PARCIAL	PORCENTAJE RET. ACUM	% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C				
N°	ABERTURA (mm)												
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		14158,80					
2 1/2"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		11620,60					
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		2538,20					
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		10996,00					
1"	25,40	391,00	2,90	2,90	97,10	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		2504,00					
3/4"	19,05	334,00	2,47	5,37	94,63	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		13500,00					
1/2"	12,70	453,00	3,36	8,73	91,27	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216				LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318			
3/8"	9,52	405,00	3,00	11,73	88,27								
1/4"	6,35	402,00	2,98	14,70	85,30								
N°4	4,75	519,00	3,84	18,55	81,45	C. HUMEDAD (%)		4,88		CLASIFICACION A.A.S.T.H.O. :		A-4 (2)	
TOTAL	W G =	2504,00											
ANALISIS FRACCION FINA													
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						0,081452							
PESO ENSAYO PORCION SECA :						1000,00							
N 10	2,00	84,40	6,87	25,42	74,58	TARA N°	1						
N 20	0,85	50,10	4,08	29,50	70,50	PESO HUMEDO + TARA (gr)	518,30	LIMITE LIQUIDO :		35,00%			
N 30	0,60	40,10	3,27	32,77	67,23	PESO SECO + TARA (gr)	494,20	LIMITE PLASTICO :		26,00%			
N 40	0,43	37,20	3,03	35,80	64,20	PESO TARA (gr)	0,00	INDICE PLASTICO :		9,00%			
N 60	0,25	52,46	4,27	40,07	59,93	PESO DEL AGUA (gr)	24,10						
N 100	0,15	48,80	3,97	44,05	55,95	PESO SECO (gr)	494,20						
N 200	0,08	58,30	4,75	48,80	51,20								
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-								
TOTAL													

Figura 28.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-8, M-1.

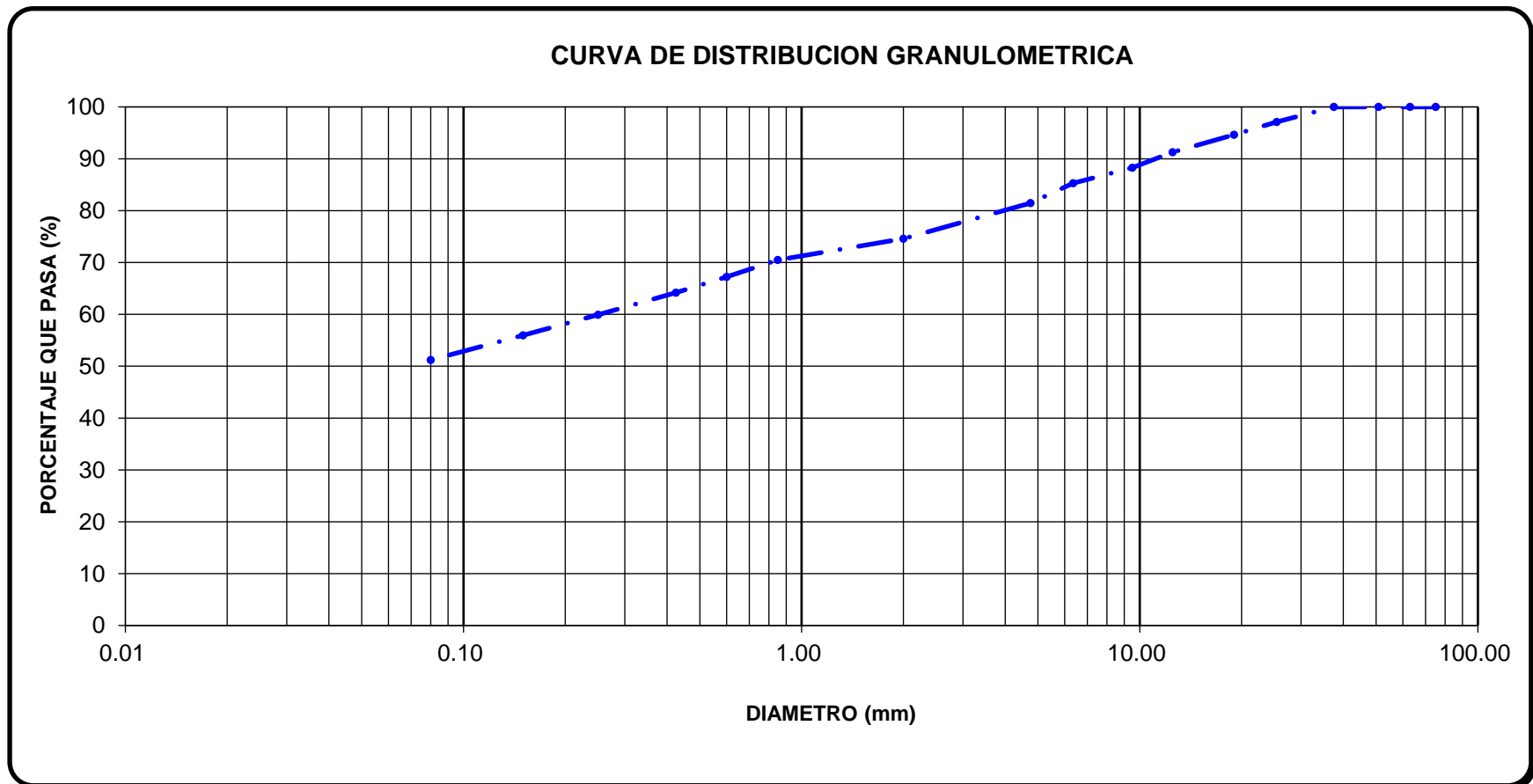


Tabla 32.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 08.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	39,30	40,55	41,35	35,35	35,50	
Wt+ M. Seca	35,68	36,39	36,51	33,26	33,36	
W agua	3,62	4,16	4,84	2,09	2,14	
W tara	23,93	24,55	24,33	25,42	25,11	
W M. Seca	11,75	11,84	12,18	7,84	8,25	
W(%)	30,81%	35,14%	39,74%	26,66%	25,94%	26,30%
N. GOLPES	34	24	16			
LÍMITE LÍQUIDO				35 %		
LÍMITE PLÁSTICO				26 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				9 %		

Figura 29.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 08.

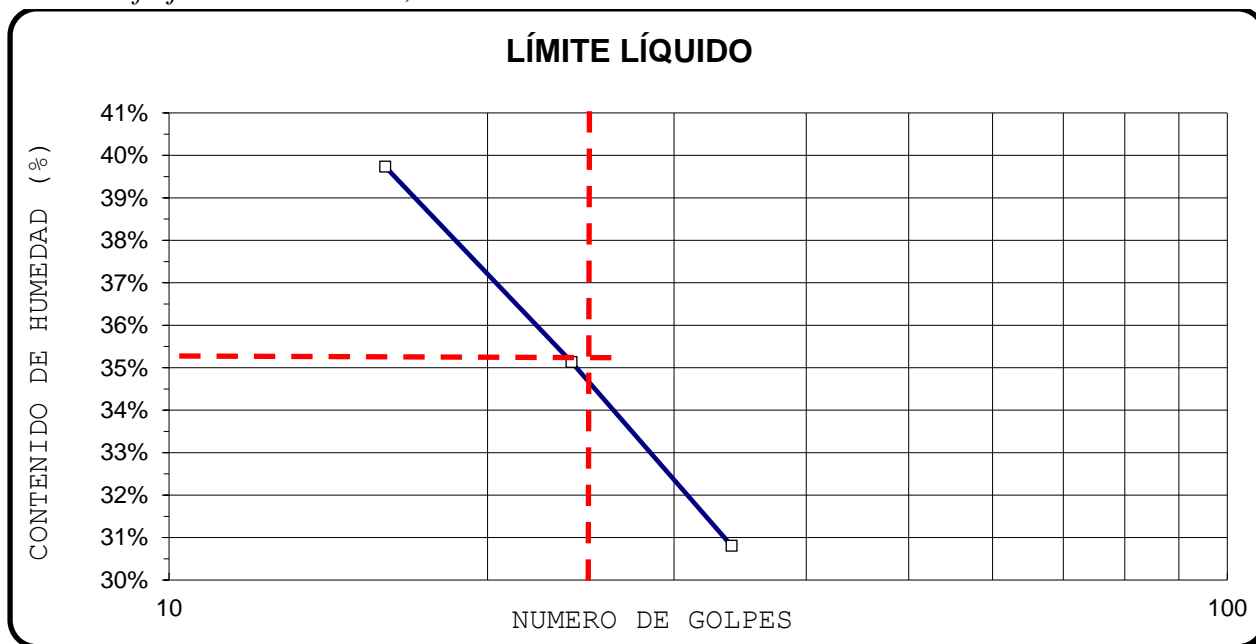


Tabla 33.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 09.

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,70-1,00 m					
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL					
TAMIZ		P. RET PARCIAL	PORCENTAJE RET. PARCIAL	PORCENTAJE RET. ACUM	% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C		
N°	ABERTURA (mm)										
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		11624,10			
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		4784,10			
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		6840,00			
1 ½"	38,10	1007,00	8,90	8,90	91,10	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		4560,60			
1"	25,40	1412,00	12,48	21,38	78,62	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		6751,40			
¾"	19,05	855,00	7,56	28,94	71,06	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		11312,00			
½"	12,70	1151,00	10,18	39,12	60,88	CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216				LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318	
3/8"	9,52	921,00	8,14	47,26	52,74						
¼"	6,35	1256,00	11,10	58,36	41,64	CLASIFICACION A.A.S.T.H.O. :				A-2-6 (0)	
N°4	4,75	149,40	1,32	59,68	40,32						
TOTAL	W G =	6751,40				C. HUMEDAD (%)		3,37			
ANALISIS FRACCION FINA											
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						0,046160					
PESO ENSAYO PORCION SECA :						873,40					
N 10	2,00	149,40	6,90	66,58	33,42	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :		29,00%	
N 20	0,85	42,00	1,94	68,52	31,48	PESO HUMEDO + TARA (gr)	512,90	LIMITE PLASTICO :		18,00%	
N 30	0,60	37,00	1,71	70,23	29,77	PESO SECO + TARA (gr)	496,20	INDICE PLASTICO :		11,00%	
N 40	0,43	29,50	1,36	71,59	28,41	PESO TARA (gr)	0,00				
N 60	0,25	55,00	2,54	74,13	25,87	PESO DEL AGUA (gr)	16,70				
N 100	0,15	79,00	3,65	77,77	22,23	PESO SECO (gr)	496,20				
N 200	0,08	135,30	6,25	84,02	15,98						
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-						
TOTAL											

Figura 30.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-9, M-1.

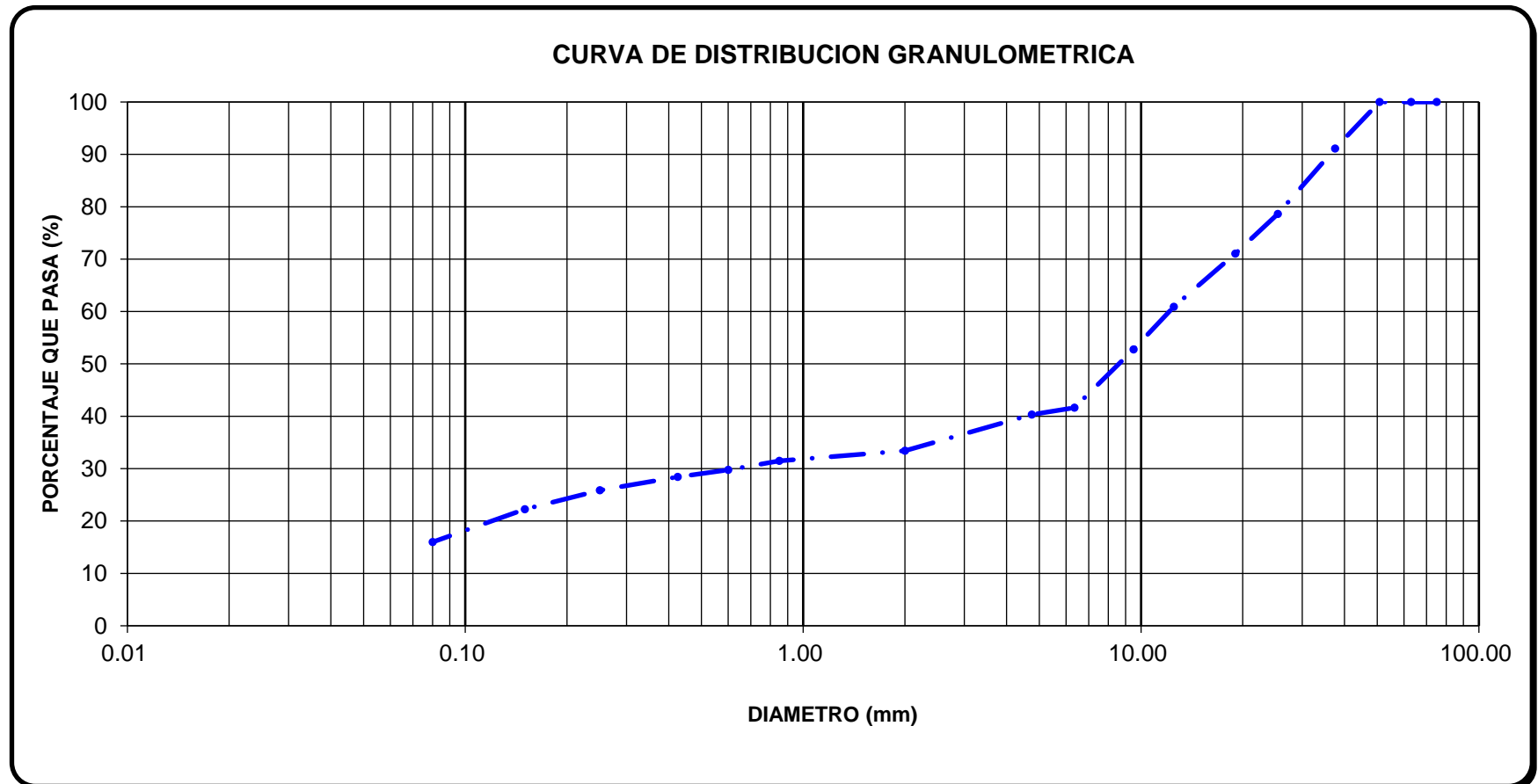


Tabla 34.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 09.

LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	38,53	38,94	40,97	35,02	35,74	
Wt+ M. Seca	35,37	35,56	37,25	33,62	34,32	
W agua	3,16	3,38	3,72	1,40	1,42	
W tara	23,73	23,96	25,37	25,84	26,33	
W M. Seca	11,64	11,60	11,88	7,78	7,99	
W(%)	27,15%	29,14%	31,31%	17,99%	17,77%	17,88%
N. GOLPES	33	24	16			
LÍMITE LÍQUIDO			29 %			
LÍMITE PLÁSTICO			18 %			
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			11 %			

Figura 31.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 09.

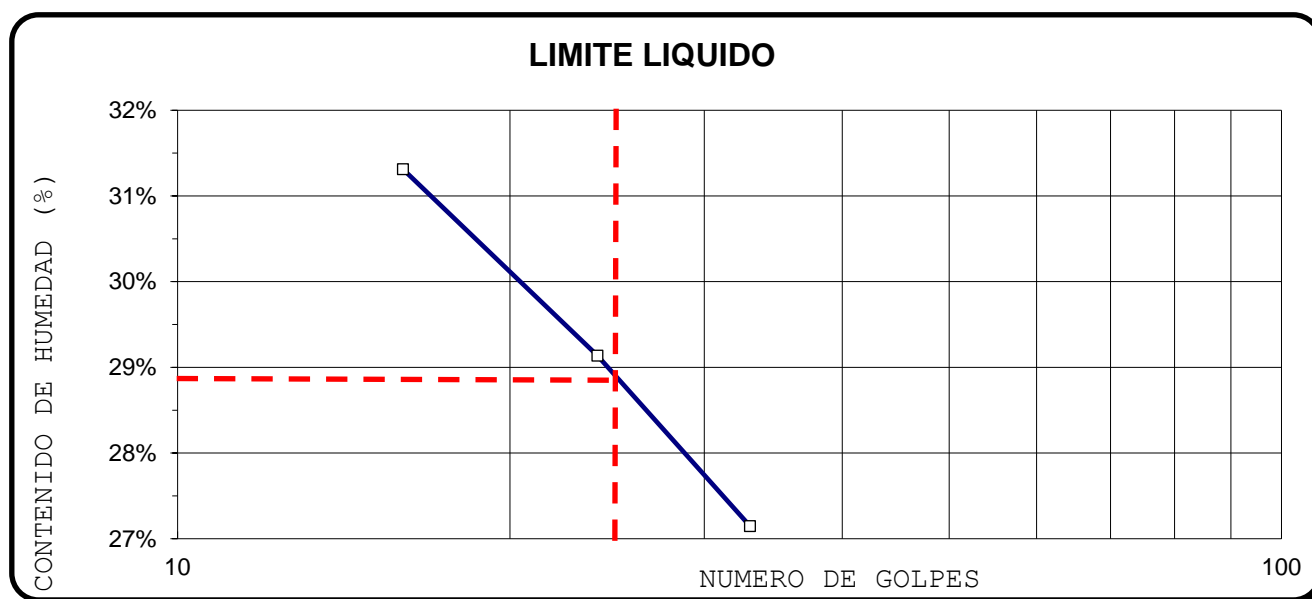


Tabla 35.

Análisis granulométrico de muestra de suelo M-1, calicata 10.

FECHA DE ENSAYO: 10/11/2018						PROF. DE ESTRATO: 0,70-1,00 m				
ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL				
TAMIZ		P. RET PARCIAL	PORCENTAJE RET. PARCIAL	PORCENTAJE RET. ACUM	% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C	
N°	ABERTURA (mm)									
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)	12711,40			
2 ½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00					
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)	6833,70			
1 ½"	38,10	620,00	5,10	5,10	94,90					
1"	25,40	1030,00	8,48	13,58	86,42	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)	5877,70			
¾"	19,05	1252,00	10,31	23,89	76,11					
½"	12,70	1053,00	8,67	32,55	67,45	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)	6361,00			
⅜"	9,52	822,00	6,77	39,32	60,68					
¼"	6,35	520,00	4,28	43,60	56,40	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)	5788,00			
N°4	4,75	491,00	4,04	47,64	52,36					
TOTAL	W G =	5788,00				PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)	12149,00			
ANALISIS FRACCION FINA										
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :						CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216	LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318			
PESO ENSAYO PORCION SECA :										
0,058176						TARA N°	1			
900,00										
N 10	2,00	50,20	2,92	50,56	49,44	PESO HUMEDO + TARA (gr)	LIMITE LIQUIDO :		40,00%	
N 20	0,85	47,80	2,78	53,34	46,66					
N 30	0,60	47,20	2,75	56,09	43,91	PESO SECO + TARA (gr)	LIMITE PLASTICO :		28,00%	
N 40	0,43	49,50	2,88	58,97	41,03					
N 60	0,25	45,00	2,62	61,59	38,41	PESO TARA (gr)	INDICE PLASTICO :			
N 100	0,15	32,00	1,86	63,45	36,55					
N 200	0,08	78,00	4,54	67,99	32,01	PESO DEL AGUA (gr)	12,00%			
CAZOLETA	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-					
TOTAL						PESO SECO (gr)	CLASIFICACION A.A.S.T.H.O. :			
						C. HUMEDAD (%)	4,02		A-2-6 (0)	

Figura 32.

Curva de distribución granulométrica, Calicata C-10, M-1.

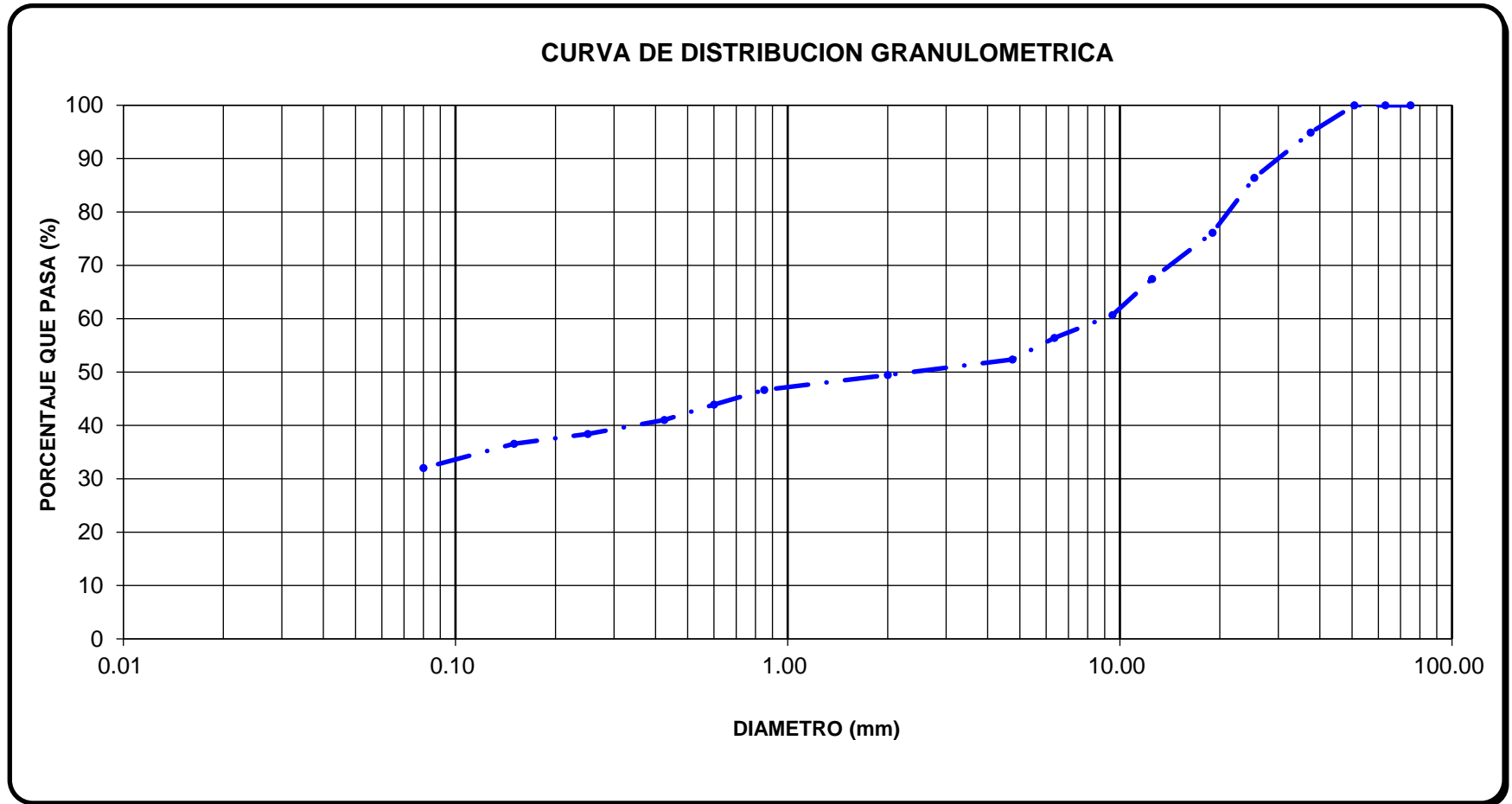


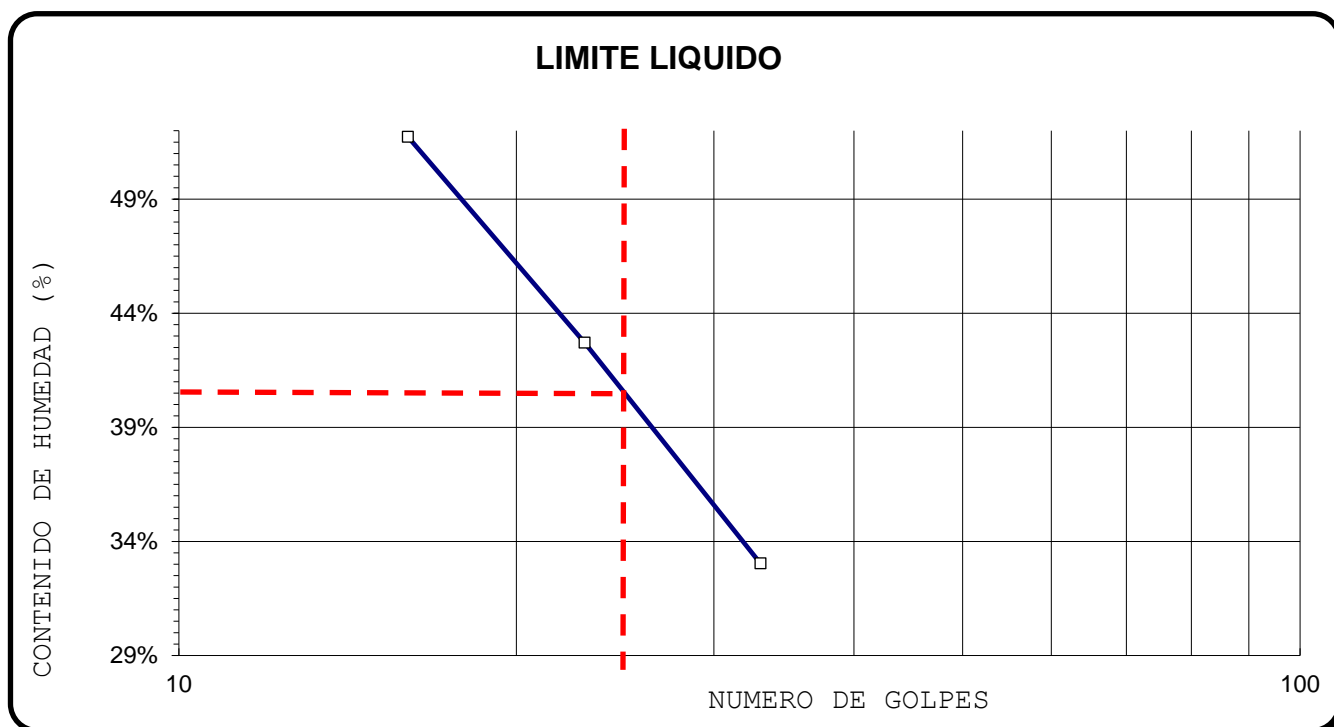
Tabla 36.

Límite líquido y plástico de muestra de suelo M-1, calicata 10.

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M. Húmeda	41,14	40,47	41,90	35,81	36,59	
Wt+ M. Seca	37,30	35,95	36,55	33,62	34,32	
W agua	3,84	4,52	5,35	2,19	2,27	
W tara	25,68	25,37	26,21	25,84	26,33	
W M. Seca	11,62	10,58	10,34	7,78	7,99	
W(%)	33,05%	42,72%	51,74%	28,15%	28,41%	28,28%
N. GOLPES	33	23	16			
LÍMITE LÍQUIDO				40 %		
LÍMITE PLÁSTICO				28 %		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				12 %		

Figura 33.

Curva de flujo de muestra M-1, calicata 10.



APÉNDICE B
ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D 1557)

Tabla 37.*Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-1.*

FECHA DE ENSAYO :04/11/2018	TIPO DE SUELO : A-5 (4)			
MÉTODO DE ENSAYO : "B"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	5515,00	5733,00	5804,00	5658,0
Masa del Molde (g)	3945,00	3945,00	3945,00	3945,00
Masa suelo compacto (g)	1570,0	1788,0	1859,0	1713,0
Volumen del Molde (cm ³)	932,00	932,00	932,00	932,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1,685	1,918	1,995	1,838
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	514,30	504,20	509,70	505,2
Masa del suelo seco + tara (g)	474,10	456,10	452,50	441,6
Masa del agua (g)	40,2	48,1	57,2	63,6
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	474,1	456,1	452,5	441,6
Contenido de humedad(%)	8,5	10,5	12,6	14,4
Densidad seca (gr/cm ³)	1,553	1,735	1,771	1,607
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)				1,783
Optimo Contenido de Humedad (%)				12,00

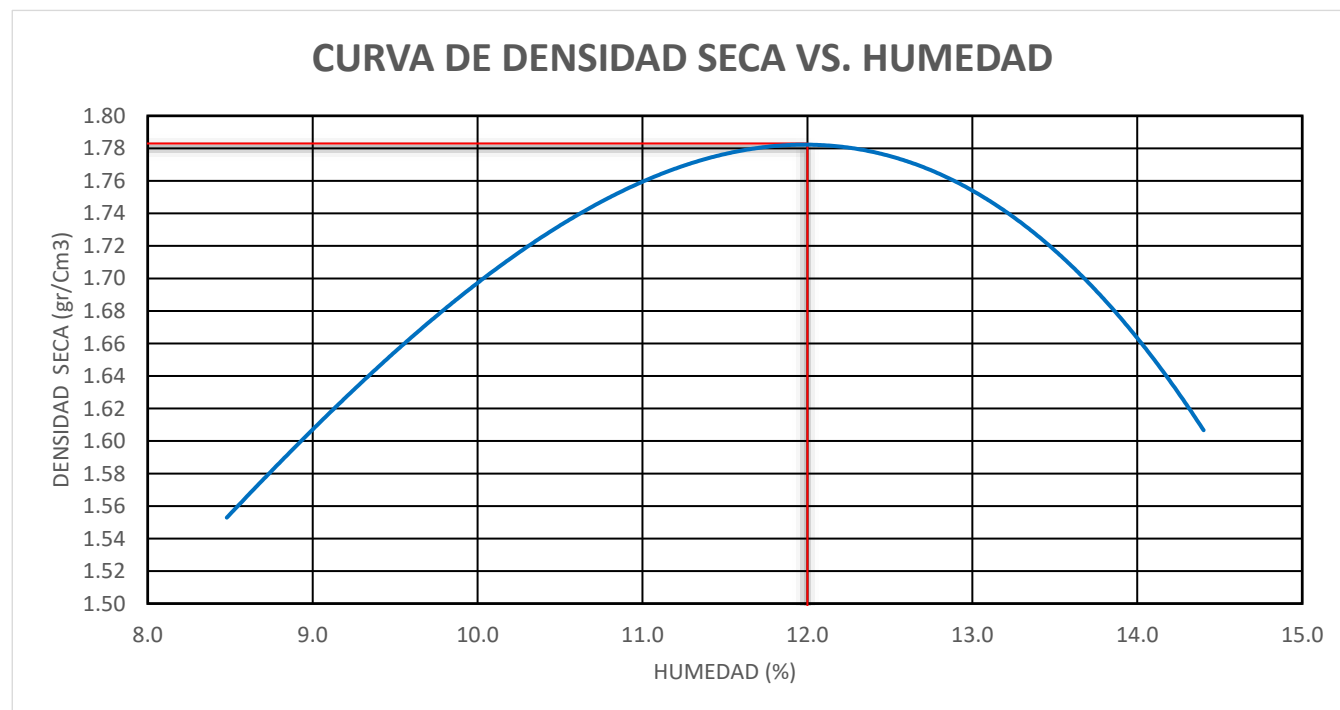
Figura 34.*Curva de compactación calicata C-1, muestra M-1.*

Tabla 38.*Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-2.*

FECHA DE ENSAYO :08/11/2018	TIPO DE SUELO : A-5 (5)			
MÉTODO DE ENSAYO : "B"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACION				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	5489,00	5654,00	5795,00	5678,00
Masa del Molde (g)	3945,00	3945,00	3945,00	3945,00
Masa suelo compacto (g)	1544,0	1709,0	1850,0	1733,0
Volumen del Molde (cm ³)	932,00	932,00	932,00	932,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1,657	1,834	1,985	1,859
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	534,20	519,30	513,20	508,4
Masa del suelo seco + tara (g)	491,50	469,90	455,80	444,3
Masa del agua (g)	42,7	49,4	57,4	64,1
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	491,5	469,9	455,8	444,3
Contenido de humedad(%)	8,7	10,5	12,6	14,4
Densidad seca (gr/cm ³)	1,524	1,659	1,763	1,625
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:		1,764	
Optimo Contenido de Humedad (%)	:		12,70	

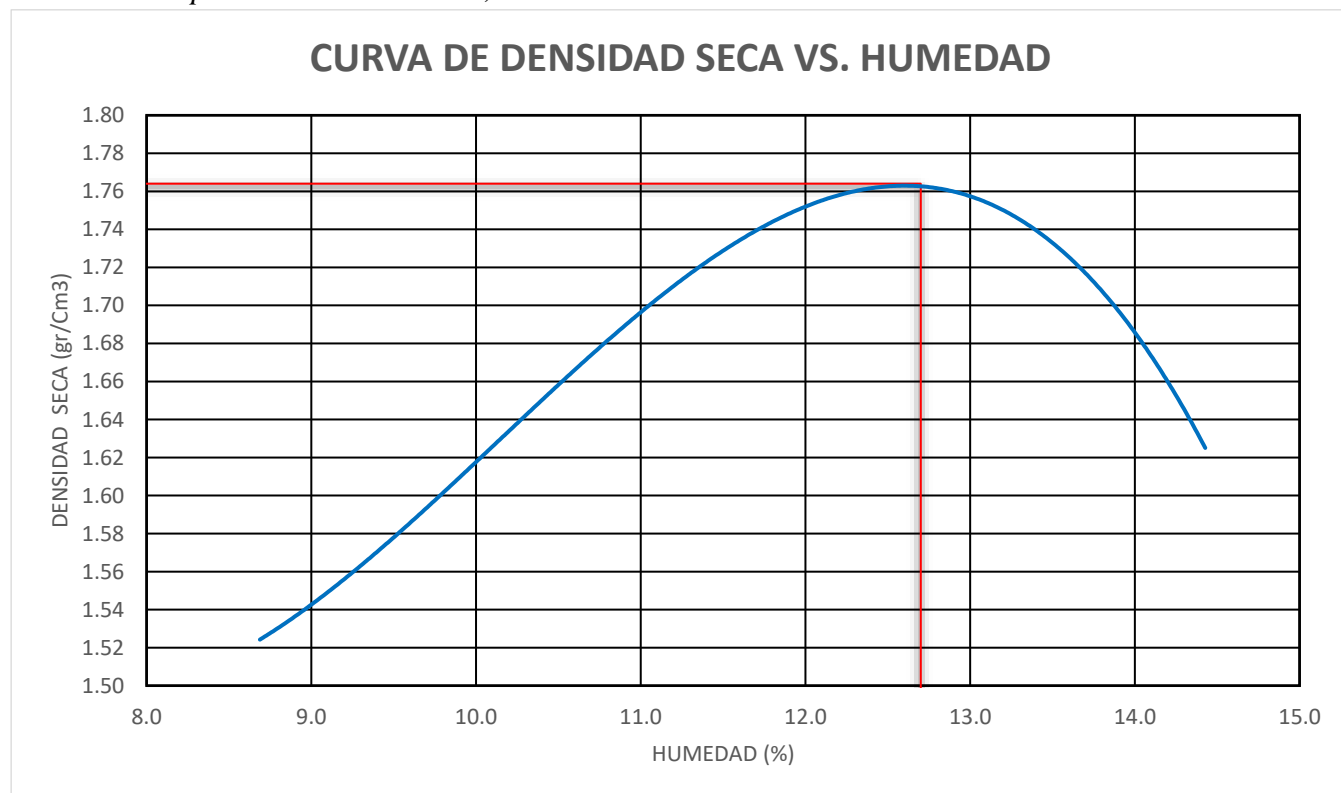
Figura 35.*Curva de compactación calicata C-2, muestra M-1.*

Tabla 39.*Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-3.*

FECHA DE ENSAYO :12/11/2018	TIPO DE SUELO : A-6 (4)			
MÉTODO DE ENSAYO : "B"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	5452,00	5648,00	5739,00	5616,0
Masa del Molde (g)	3945,00	3945,00	3945,00	3945,00
Masa suelo compacto (g)	1507,0	1703,0	1794,0	1671,0
Volumen del Molde (cm ³)	932,00	932,00	932,00	932,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1,617	1,827	1,925	1,793
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	516,20	520,30	509,40	512,6
Masa del suelo seco + tara (g)	472,20	466,90	448,80	444,6
Masa del agua (g)	44,0	53,4	60,6	68,0
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	472,2	466,9	448,8	444,6
Contenido de humedad(%)	9,3	11,4	13,5	15,3
Densidad seca (gr/cm ³)	1,479	1,640	1,696	1,555
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)			1,700	
Optimo Contenido de Humedad (%)			13,20	

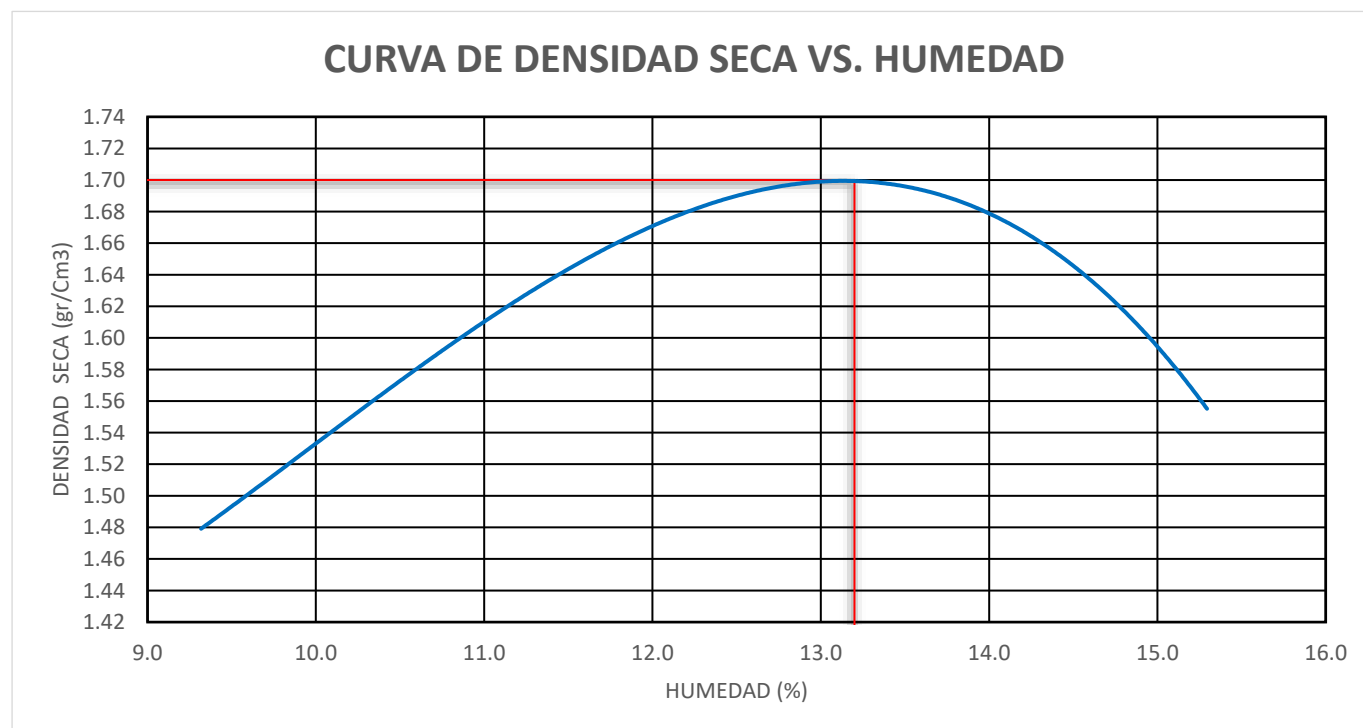
Figura 36.*Curva de compactación muestra M-1, calicata C-3.*

Tabla 40.*Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-4.*

FECHA DE ENSAYO :16/11/2018	TIPO DE SUELO : A-7-5 (12)			
MÉTODO DE ENSAYO : "A"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	5441,00	5612,00	5723,00	5609,0
Masa del Molde (g)	3945,00	3945,00	3945,00	3945,00
Masa suelo compacto (g)	1496,0	1667,0	1778,0	1664,0
Volumen del Molde (cm ³)	932,00	932,00	932,00	932,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1,605	1,789	1,908	1,785
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	516,90	512,70	519,20	513,0
Masa del suelo seco + tara (g)	469,40	456,80	455,60	442,0
Masa del agua (g)	47,5	55,9	63,6	71,0
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	469,4	456,8	455,6	442,0
Contenido de humedad(%)	10,1	12,2	14,0	16,1
Densidad seca (gr/cm ³)	1,458	1,594	1,674	1,538
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)				1,675
Optimo Contenido de Humedad (%)				14,20

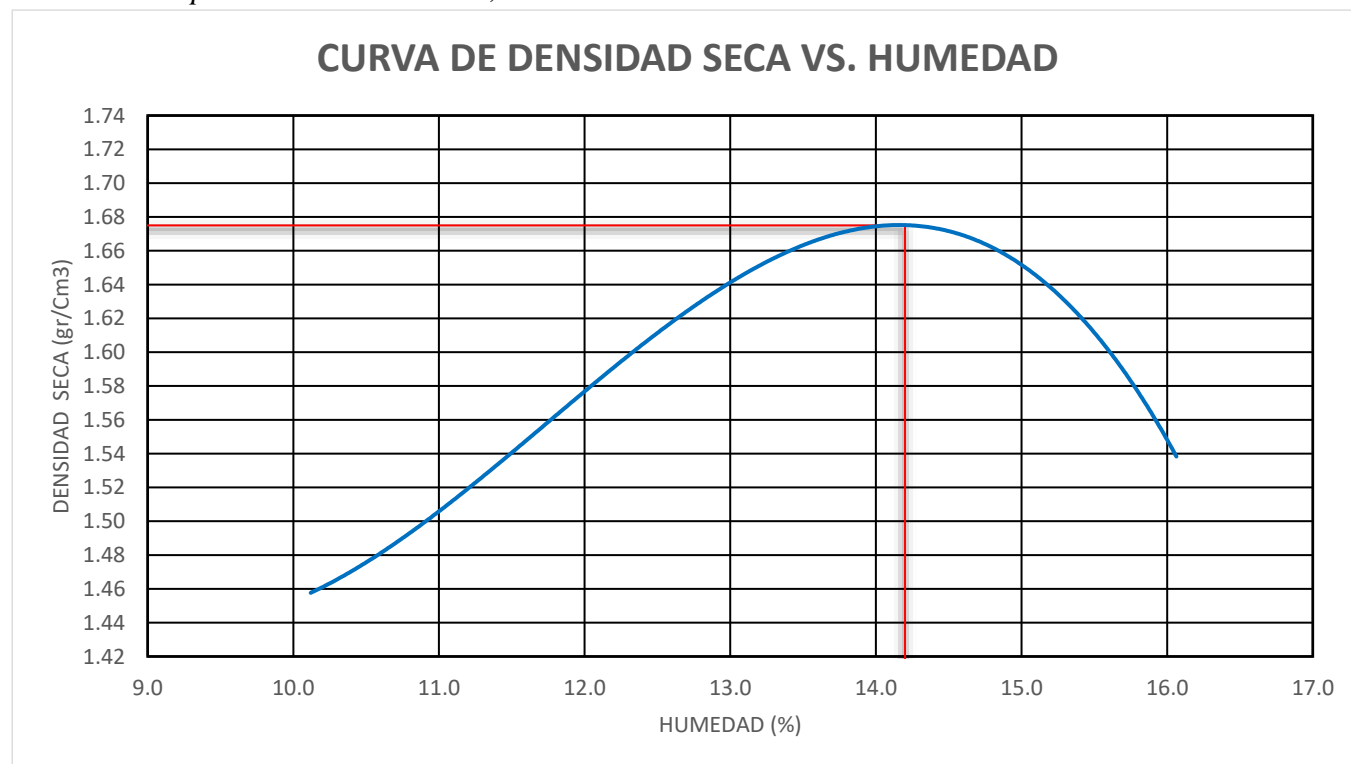
Figura 37.*Curva de compactación muestra M-1, calicata C-4.*

Tabla 41.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-5.

FECHA DE ENSAYO :20/11/2018	TIPO DE SUELO : A-2-6 (0)			
MÉTODO DE ENSAYO : "C"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACION				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	10858,00	11097,00	11312,00	11287,0
Masa del Molde (g)	6430,00	6430,00	6430,00	6430,00
Masa suelo compacto (g)	4428,0	4667,0	4882,0	4857,0
Volumen del Molde (cm ³)	2123,00	2123,00	2123,00	2123,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2,086	2,198	2,300	2,288
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	513,40	509,90	502,10	521,3
Masa del suelo seco + tara (g)	491,60	478,60	463,40	472,1
Masa del agua (g)	21,8	31,3	38,7	49,2
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	491,6	478,6	463,4	472,1
Contenido de humedad(%)	4,4	6,5	8,4	10,4
Densidad seca (gr/cm ³)	1,997	2,063	2,122	2,072
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:			2,126
Optimo Contenido de Humedad (%)	:			8,80

Figura 38.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-5.

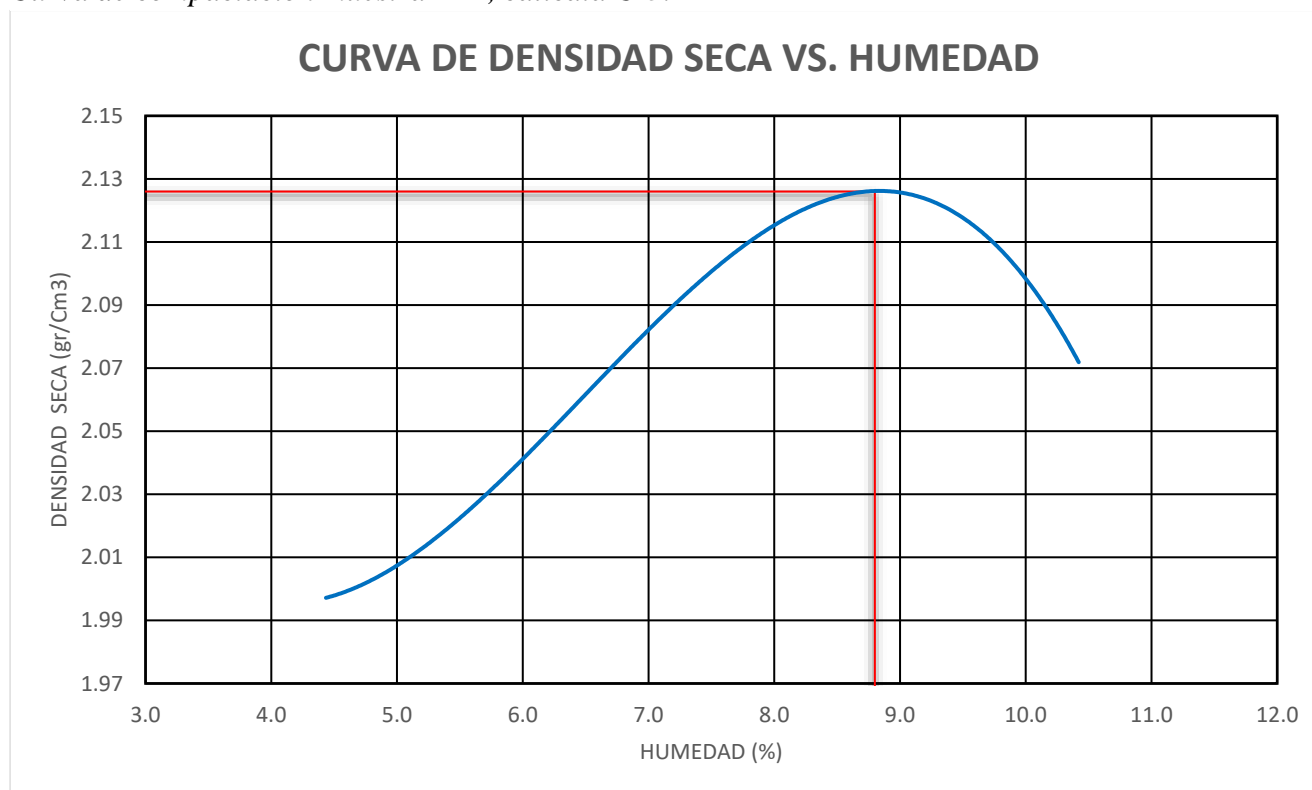


Tabla 42.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-6.

FECHA DE ENSAYO :24/11/2018	TIPO DE SUELO : A-2-6 (0)			
MÉTODO DE ENSAYO : "C"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACION				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	10752,00	11064,00	11301,00	11222,0
Masa del Molde (g)	6430,00	6430,00	6430,00	6430,00
Masa suelo compacto (g)	4322,0	4634,0	4871,0	4792,0
Volumen del Molde (cm ³)	2123,00	2123,00	2123,00	2123,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2,036	2,183	2,294	2,257
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	516,60	508,40	503,40	509,4
Masa del suelo seco + tara (g)	491,40	474,10	460,50	458,1
Masa del agua (g)	25,2	34,3	42,9	51,3
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	491,4	474,1	460,5	458,1
Contenido de humedad(%)	5,1	7,2	9,3	11,2
Densidad seca (gr/cm ³)	1,936	2,035	2,099	2,030
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:		2,10	
Optimo Contenido de Humedad (%)	:		9,40	

Figura 39.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-6.

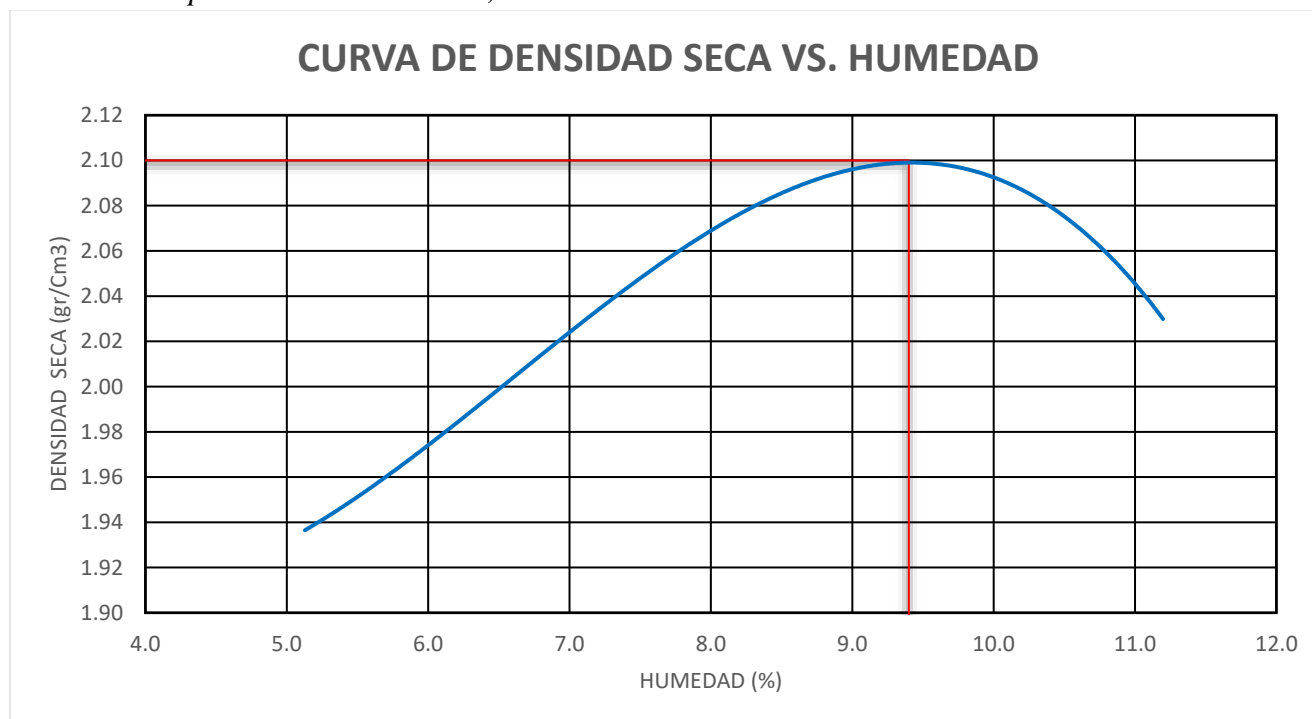


Tabla 43.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-7.

FECHA DE ENSAYO :28/11/2018	TIPO DE SUELO : A-2-6 (0)			
MÉTODO DE ENSAYO : "C"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	10902,00	11127,00	11337,00	11304,0
Masa del Molde (g)	6430,00	6430,00	6430,00	6430,00
Masa suelo compacto (g)	4472,0	4697,0	4907,0	4874,0
Volumen del Molde (cm ³)	2123,00	2123,00	2123,00	2123,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2,106	2,212	2,311	2,296
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	509,40	502,30	508,60	504,2
Masa del suelo seco + tara (g)	489,20	472,70	470,00	457,8
Masa del agua (g)	20,2	29,6	38,6	46,4
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	489,2	472,7	470,0	457,8
Contenido de humedad(%)	4,1	6,3	8,2	10,1
Densidad seca (gr/cm ³)	2,023	2,082	2,136	2,085
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:		2,136	
Optimo Contenido de Humedad (%)	:		8,60	

Figura 40.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-7.

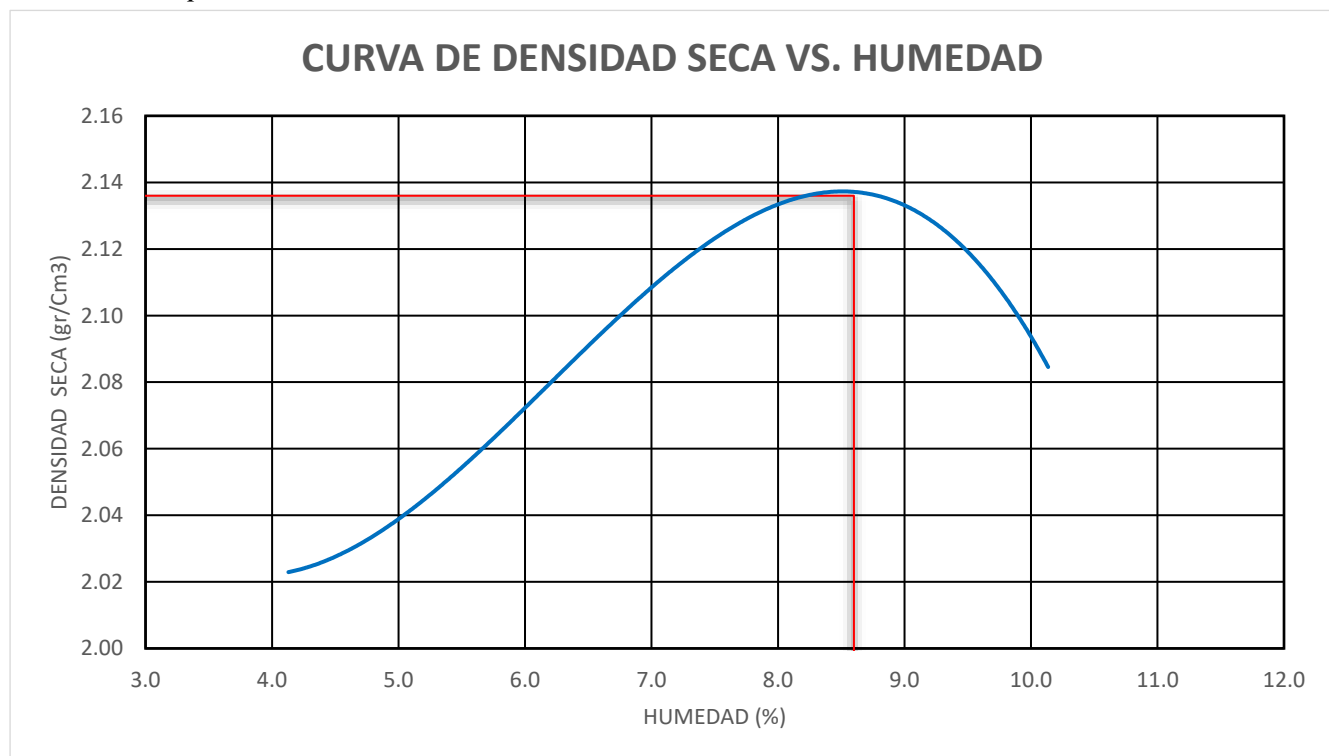


Tabla 44.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-8.

FECHA DE ENSAYO :02/12/2018	TIPO DE SUELO : A-4 (2)			
MÉTODO DE ENSAYO : "A"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	5453,00	5633,00	5753,00	5644,0
Masa del Molde (g)	3945,00	3945,00	3945,00	3945,00
Masa suelo compacto (g)	1508,0	1688,0	1808,0	1699,0
Volumen del Molde (cm ³)	932,00	932,00	932,00	932,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1,618	1,811	1,940	1,823
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	511,20	514,30	517,40	511,2
Masa del suelo seco + tara (g)	475,80	469,60	464,50	450,7
Masa del agua (g)	35,4	44,7	52,9	60,5
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	475,8	469,6	464,5	450,7
Contenido de humedad(%)	7,4	9,5	11,4	13,4
Densidad seca (gr/cm ³)	1,506	1,654	1,742	1,607
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:			1,744
Optimo Contenido de Humedad (%)	:			11,55

Figura 41.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-8.

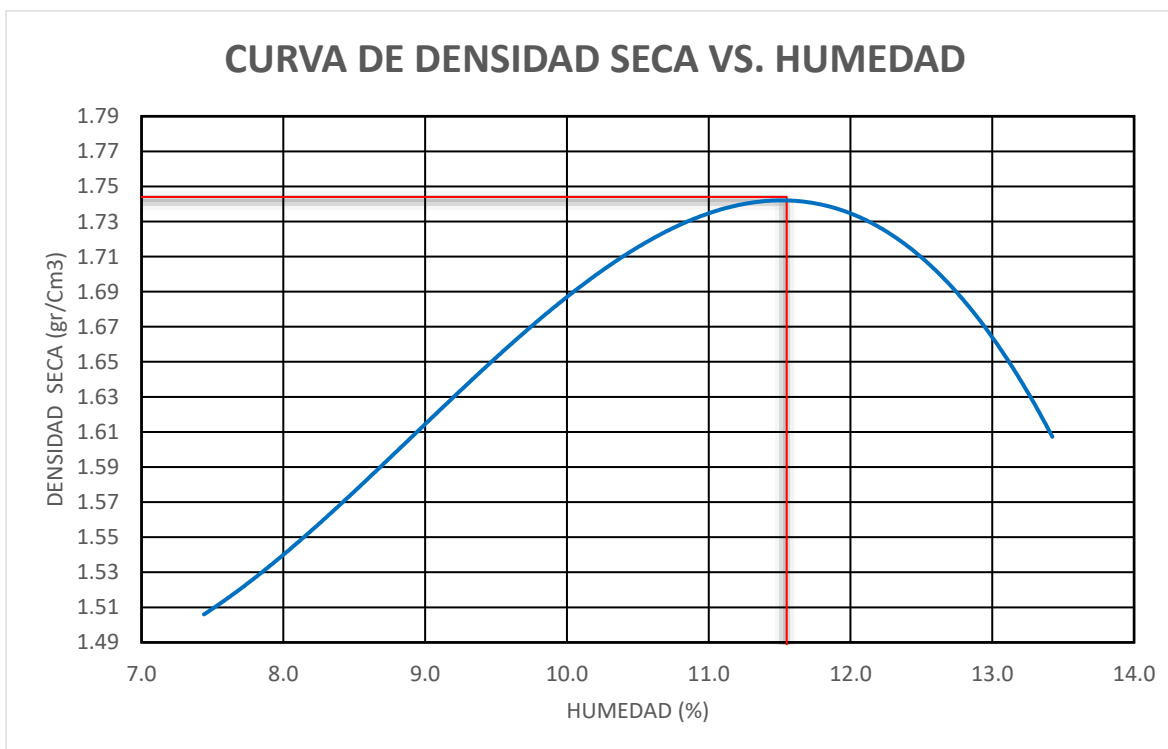


Tabla 45.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-9.

FECHA DE ENSAYO :06/12/2018	TIPO DE SUELO : A-2-6 (0)			
MÉTODO DE ENSAYO : "C"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	10877,00	11145,00	11378,00	11302,0
Masa del Molde (g)	6430,00	6430,00	6430,00	6430,00
Masa suelo compacto (g)	4447,0	4715,0	4948,0	4872,0
Volumen del Molde (cm ³)	2123,00	2123,00	2123,00	2123,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2,095	2,221	2,331	2,295
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	523,20	509,90	512,30	515,3
Masa del suelo seco + tara (g)	505,20	482,40	476,20	470,8
Masa del agua (g)	18,0	27,5	36,1	44,5
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	505,2	482,4	476,2	470,8
Contenido de humedad(%)	3,6	5,7	7,6	9,5
Densidad seca (gr/cm ³)	2,023	2,101	2,166	2,097
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)				2,167
Óptimo Contenido de Humedad (%)				7,80

Figura 42.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-9.

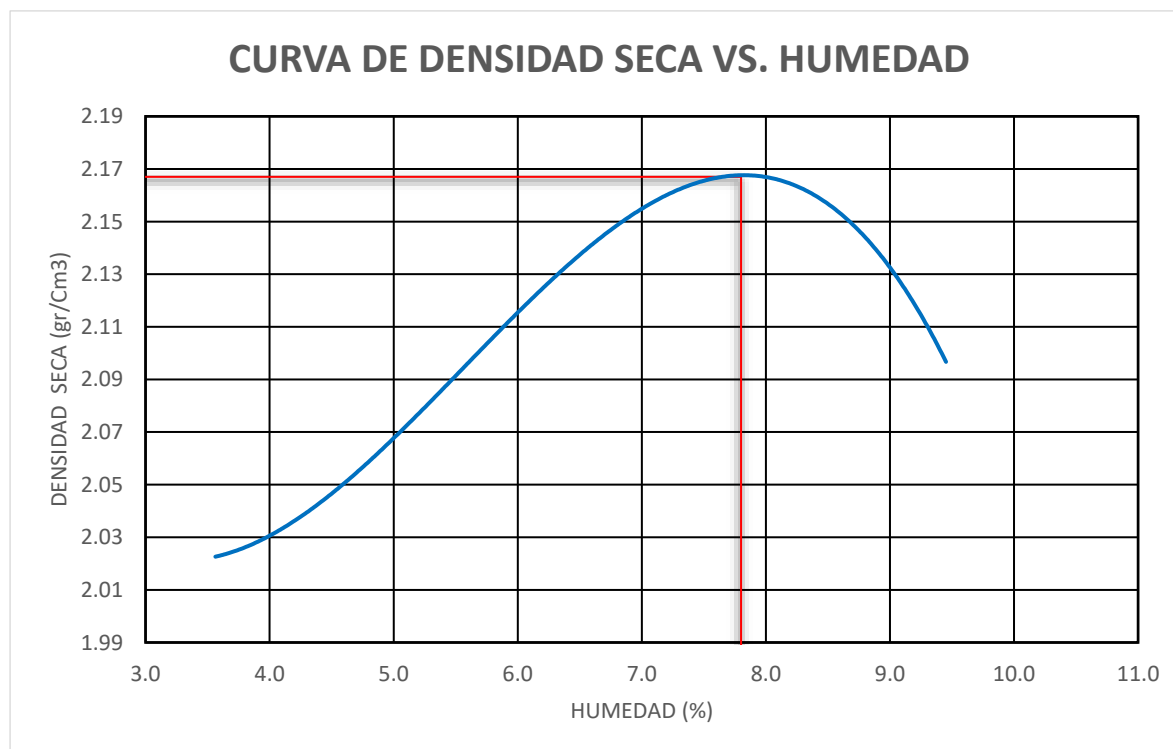


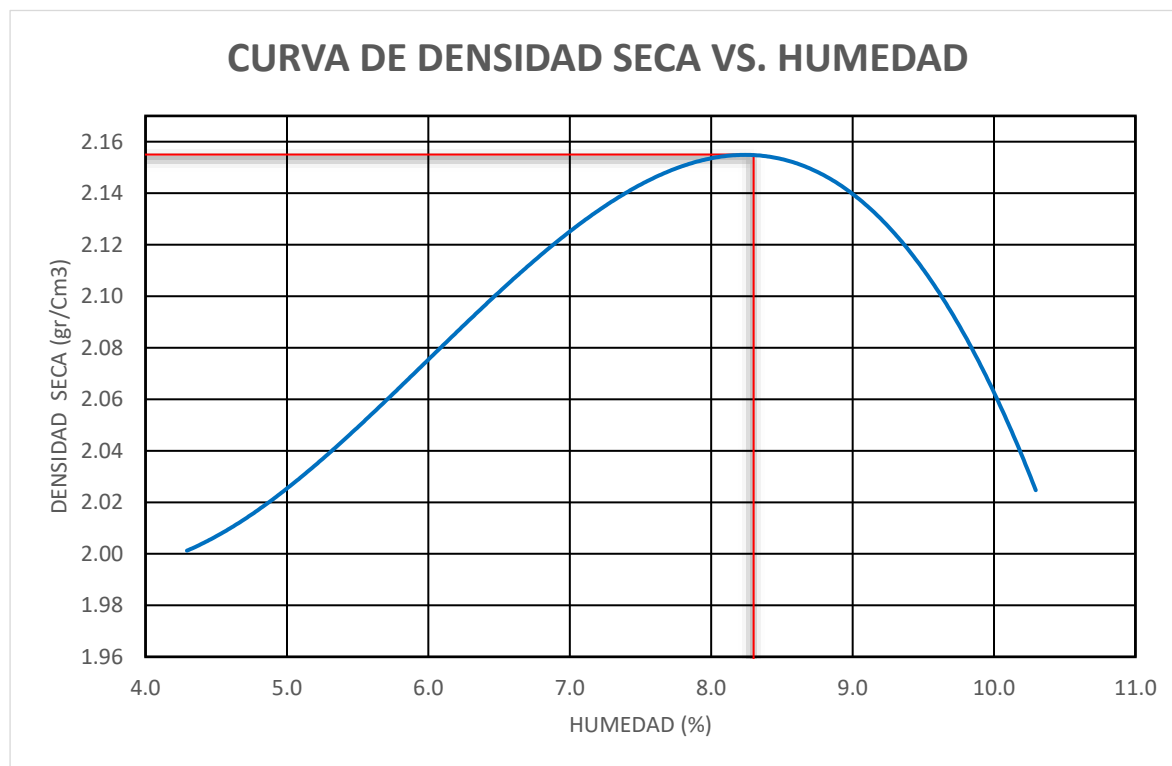
Tabla 46.

Ensayo proctor modificado muestra M-1, calicata C-10.

FECHA DE ENSAYO :10/12/2018	TIPO DE SUELO : A-2-6 (0)			
MÉTODO DE ENSAYO : "A"	MÉTODO DE PREPARACIÓN : HUMEDA			
COMPACTACIÓN				
Prueba	1	2	3	4
Masa del molde + Suelo compacto (g)	10861,00	11163,00	11390,00	11171,0
Masa del Molde (g)	6430,00	6430,00	6430,00	6430,00
Masa suelo compacto (g)	4431,0	4733,0	4960,0	4741,0
Volumen del Molde (cm ³)	2123,00	2123,00	2123,00	2123,00
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2,087	2,229	2,336	2,233
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tara Nro.	A	B	C	D
Masa del suelo húmedo + tara (g)	500,50	500,00	500,0	530,3
Masa del suelo seco + tara (g)	479,90	470,00	459,8	480,8
Masa del agua (g)	20,6	30,0	40,2	49,5
Masa de tara (g)	0,0	0,0	0,0	0,0
Masa suelo seco (g)	479,9	470,0	459,8	480,8
Contenido de humedad(%)	4,3	6,4	8,7	10,3
Densidad seca (gr/cm ³)	2,001	2,096	2,148	2,025
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	:			2,155
Óptimo Contenido de Humedad (%)	:			8,30

Figura 43.

Curva de compactación muestra M-1, calicata C-10.



APÉNDICE C

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) (ASTMD 1883)

Tabla 47.*Compactación CBR, Calicata C-1, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 08 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,70 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	1		2		3	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	12780,0	13376,3	12504,0	13214,5	12367,0	13221,7
Peso Molde (gr)	8140,0	8140,0	8106,0	8106,0	8196,0	8196,0
Peso Húmedo (gr)	4640,0	5236,3	4398,0	5108,5	4171,0	5025,7
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,000	2,257	1,896	2,202	1,798	2,166
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P. Húmedo + Tara	513,40	520,30	510,30	541,70	508,80	604,30
Peso Seco + Tara	458,10	445,70	455,20	459,90	454,10	508,00
Peso Agua (gr)	55,30	74,60	55,10	81,80	54,70	96,30
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	458,10	445,70	455,20	459,90	454,10	508,00
Contenido de Humedad	12,07%	16,74%	12,10%	17,79%	12,05%	18,96%
C. Humedad	12,07%	16,74%	12,10%	17,79%	12,05%	18,96%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,785	1,933	1,691	1,869	1,605	1,821

Tabla 48.*Ensayo de hinchamiento CBR, Calicata C-1, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 1			NUMERO DE MOLDE Nº 2			NUMERO DE MOLDE Nº 3		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	26,000	0,660	0,52	33,000	0,838	0,66	41,000	1,041	0,82
48	2	41,000	1,041	0,82	52,000	1,321	1,04	63,000	1,600	1,26
72	3	54,000	1,372	1,08	69,000	1,753	1,38	84,000	2,134	1,68
96	4	67,000	1,702	1,34	74,000	1,880	1,48	92,000	2,337	1,84

Tabla 49,*Ensayo carga – penetración CBR, Calicata C-1, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
(mm)	(pulg)	CARGA KG,	ESFUERZO		CARGA KG,	ESFUERZO		CARGA KG,	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	33,00	1,68	24,01	28,00	1,43	20,37	24,00	1,22	17,46
1,27	0,050	53,00	2,70	38,56	47,00	2,39	34,20	40,00	2,04	29,10
1,91	0,075	85,00	4,33	61,84	72,00	3,67	52,38	64,00	3,26	46,56
2,54	0,100	118,00	6,01	85,85	95,00	4,84	69,12	79,00	4,02	57,48
3,18	0,125	152,00	7,74	110,59	132,00	6,72	96,04	102,00	5,19	74,21
3,81	0,150	195,00	9,93	141,88	159,00	8,10	115,68	129,00	6,57	93,86
5,08	0,200	264,00	13,45	192,08	213,00	10,85	154,97	153,00	7,79	111,32
7,62	0,300	319,00	16,25	232,09	264,00	13,45	192,08	189,00	9,63	137,51
10,16	0,400	356,00	18,13	259,01	309,00	15,74	224,82	213,00	10,85	154,97
12,70	0,500	402,00	20,47	292,48	333,00	16,96	242,28	231,00	11,76	168,07

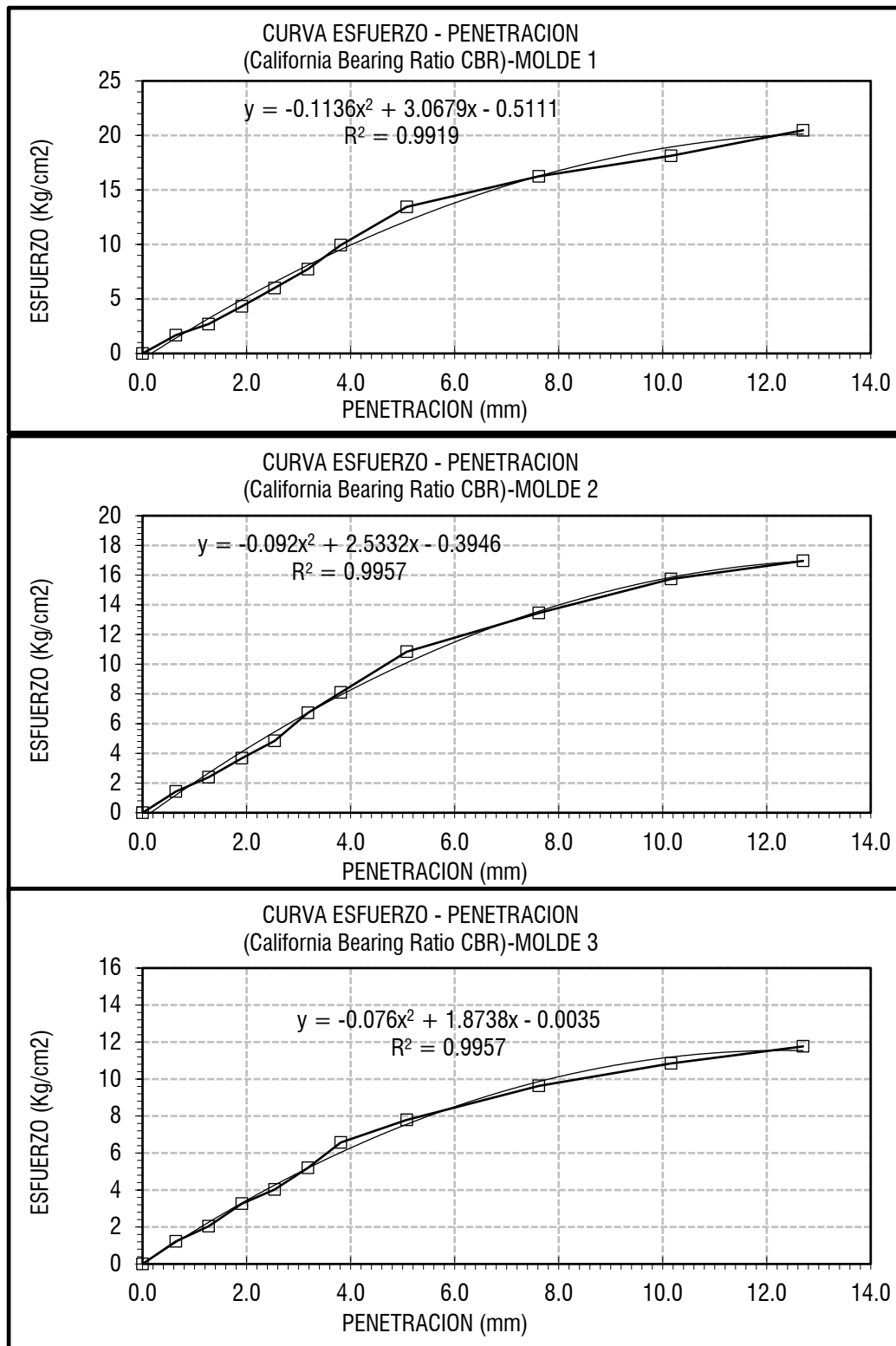
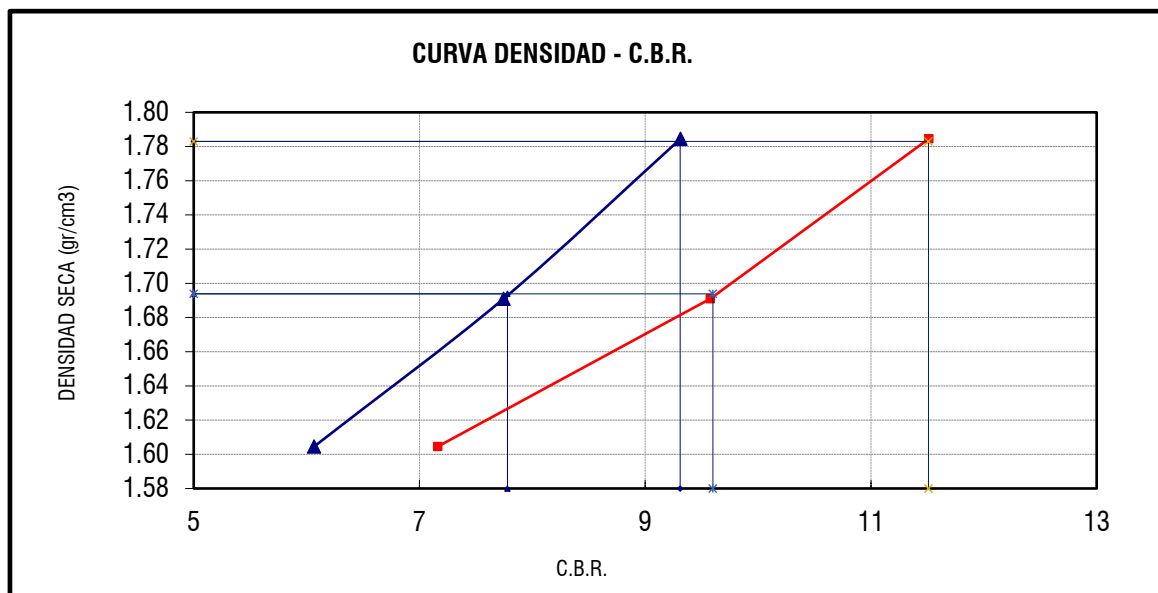
Figura 44.*Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-1, M-1.*

Figura 45.

Curva densidad – CBR, Calicata C-1, M-1.

**Tabla 50.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-1, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	6,55	70,31	9,31	1,78
MOLDE 2	2,54	5,45	70,31	7,75	1,69
MOLDE 3	2,54	4,27	70,31	6,07	1,60
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		1,783	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1") =		7,78%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1") =		9,31%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		12,00	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2") =		9,60%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2") =		11,51%

Tabla 51.*Compactación CBR, Calicata C-2, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 12 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,70 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	4		5		6	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	12677,0	13322,6	12558,0	13268,6	12490,0	13227,8
Peso Molde (gr)	8079,0	8079,0	8124,0	8124,0	8318,0	8318,0
Peso Húmedo (gr)	4598,0	5243,6	4434,0	5144,6	4172,0	4909,8
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1,982	2,260	1,911	2,218	1,798	2,116
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P. Húmedo + Tara	503,20	516,50	509,39	544,20	506,00	581,50
Peso Seco + Tara	446,30	438,30	452,00	459,80	449,10	490,40
Peso Agua (gr)	56,90	78,20	57,39	84,40	56,90	91,10
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	446,30	438,30	452,00	459,80	449,10	490,40
Contenido de Humedad	12,75%	17,84%	12,70%	18,36%	12,67%	18,58%
C. Humedad	12,75%	17,84%	12,70%	18,36%	12,67%	18,58%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,758	1,918	1,696	1,874	1,596	1,785

Tabla 52.*Ensayo de hinchamiento CBR, Calicata C-2, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 4			NUMERO DE MOLDE Nº 5			NUMERO DE MOLDE Nº 6		
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	30,000	0,762	0,60	39,000	0,991	0,78	52,000	1,321	1,04
48	2	46,000	1,168	0,92	58,000	1,473	1,16	74,000	1,880	1,48
72	3	67,000	1,702	1,34	78,000	1,981	1,56	87,000	2,210	1,74
96	4	82,000	2,083	1,64	93,000	2,362	1,86	105,000	2,667	2,10

Tabla 53.*Ensayo Carga – Penetración CBR, Calicata C-2, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 4			MOLDE Nº 5			MOLDE Nº 6		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	27,00	1,38	19,64	24,00	1,22	17,46	21,00	1,07	15,28
1,27	0,050	48,00	2,44	34,92	41,00	2,09	29,83	38,00	1,94	27,65
1,91	0,075	74,00	3,77	53,84	67,00	3,41	48,75	62,00	3,16	45,11
2,54	0,100	113,00	5,76	82,21	96,00	4,89	69,85	86,00	4,38	62,57
3,18	0,125	146,00	7,44	106,22	129,00	6,57	93,86	112,00	5,70	81,49
3,81	0,150	182,00	9,27	132,42	163,00	8,30	118,59	149,00	7,59	108,41
5,08	0,200	250,00	12,73	181,89	212,00	10,80	154,24	178,00	9,07	129,51
7,62	0,300	307,00	15,64	223,36	254,00	12,94	184,80	208,00	10,59	151,33
10,16	0,400	340,00	17,32	247,37	296,00	15,08	215,36	223,00	11,36	162,25
12,70	0,500	365,00	18,59	265,56	320,00	16,30	232,82	230,00	11,71	167,34

Figura 46.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-2, M-1.

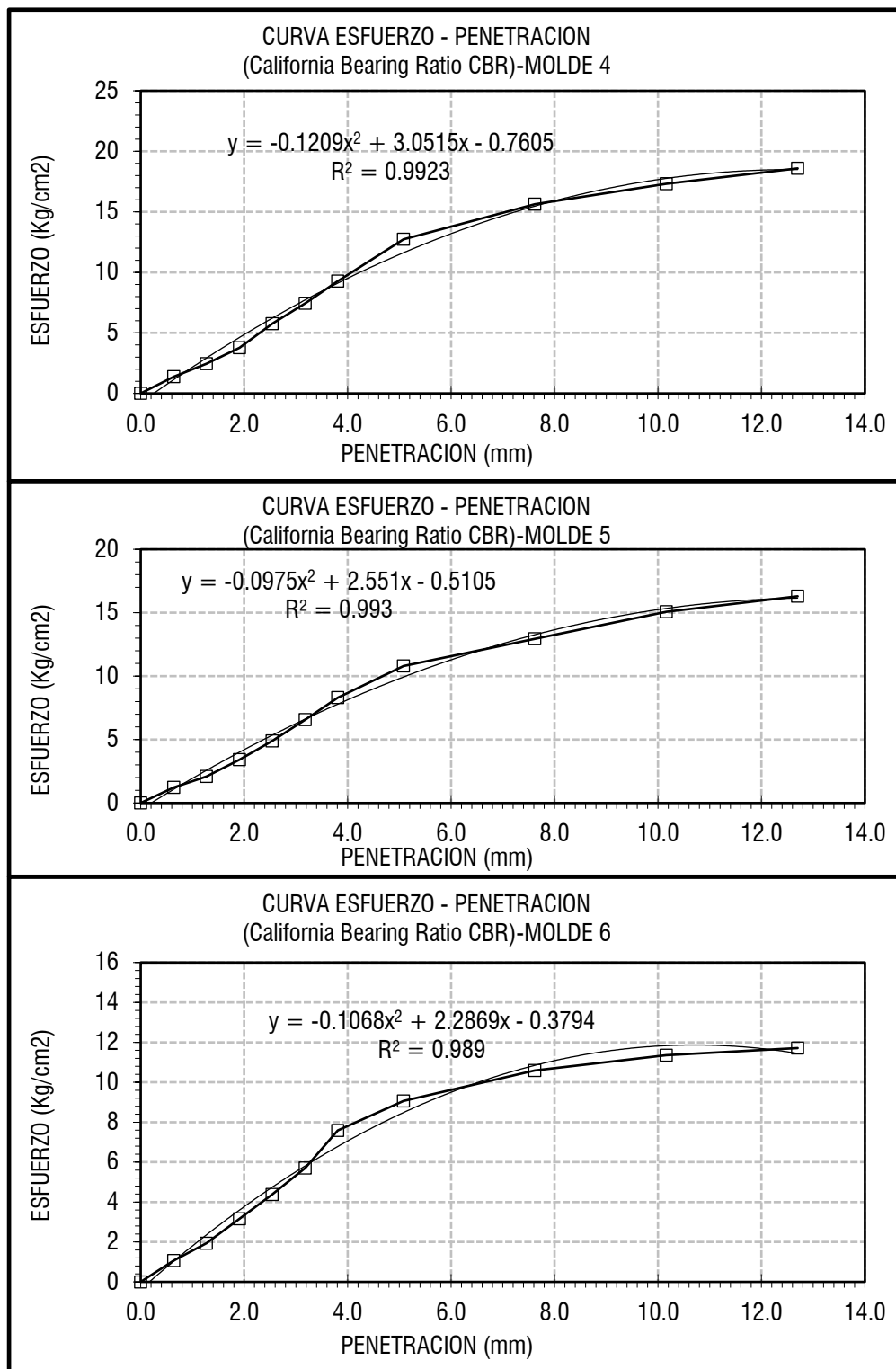
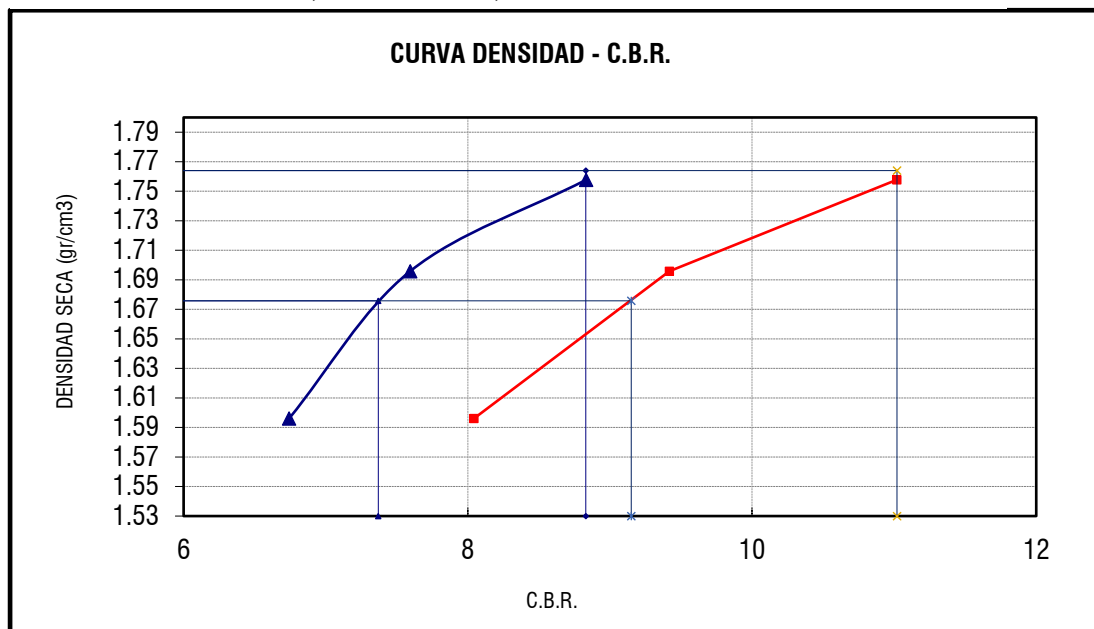


Figura 47.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-2, M-1.

**Tabla 54.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-2, M-1.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.			
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³)	: 1,764	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		7,37%	
		C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		8,83%	
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%)	: 12,70	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		9,15%	
		C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		11,02%	
VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm ²)	PRESION PATRON (Kg/cm ²)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
MOLDE 1	2,54	6,21	70,31	8,83	1,76
MOLDE 2	2,54	5,34	70,31	7,59	1,70
MOLDE 3	2,54	4,74	70,31	6,74	1,60

Tabla 55.*Compactación CBR, Calicata C-3, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 16 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,60 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	7		8		9	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N° Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	12533,0	12961,7	12433,0	12943,5	12050,0	12641,2
Peso Molde (gr)	8055,0	8055,0	8172,0	8172,0	7996,0	7996,0
Peso Húmedo (gr)	4478,0	4906,7	4261,0	4771,5	4054,0	4645,2
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1,930	2,115	1,837	2,057	1,747	2,002
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P.Húmedo + Tara	510,50	487,90	508,70	539,00	509,30	526,30
Peso Seco + Tara	450,90	418,30	449,40	459,50	450,00	445,70
Peso Agua (gr)	59,60	69,60	59,30	79,50	59,30	80,60
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	450,90	418,30	449,40	459,50	450,00	445,70
Contenido de Humedad	13,22%	16,64%	13,20%	17,30%	13,18%	18,08%
C. Humedad	13,22%	16,64%	13,20%	17,30%	13,18%	18,08%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,705	1,813	1,623	1,753	1,544	1,696

Tabla 56.*Ensayo de hinchamiento Calicata C-3, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 7			NUMERO DE MOLDE Nº 8			NUMERO DE MOLDE Nº 9		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	52,000	1,321	1,04	68,000	1,727	1,36	84,000	2,134	1,68
48	2	79,000	2,007	1,58	99,000	2,515	1,98	127,000	3,226	2,54
72	3	102,000	2,591	2,04	137,000	3,480	2,74	176,000	4,470	3,52
96	4	121,000	3,073	2,42	163,000	4,140	3,26	229,000	5,817	4,58

Tabla 57.*Ensayo Carga – Penetración CBR, Calicata C-3, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 7			MOLDE Nº 8			MOLDE Nº 9		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	21,00	1,07	15,28	17,00	0,87	12,37	14,00	0,71	10,19
1,27	0,050	39,00	1,99	28,38	32,00	1,63	23,28	23,00	1,17	16,73
1,91	0,075	62,00	3,16	45,11	54,00	2,75	39,29	42,00	2,14	30,56
2,54	0,100	87,00	4,43	63,30	78,00	3,97	56,75	62,00	3,16	45,11
3,18	0,125	112,00	5,70	81,49	97,00	4,94	70,57	85,00	4,33	61,84
3,81	0,150	146,00	7,44	106,22	124,00	6,32	90,22	104,00	5,30	75,67
5,08	0,200	188,00	9,57	136,78	151,00	7,69	109,86	119,00	6,06	86,58
7,62	0,300	214,00	10,90	155,70	186,00	9,47	135,33	132,00	6,72	96,04
10,16	0,400	236,00	12,02	171,71	209,00	10,64	152,06	154,00	7,84	112,05
12,70	0,500	245,00	12,48	178,25	223,00	11,36	162,25	169,00	8,61	122,96

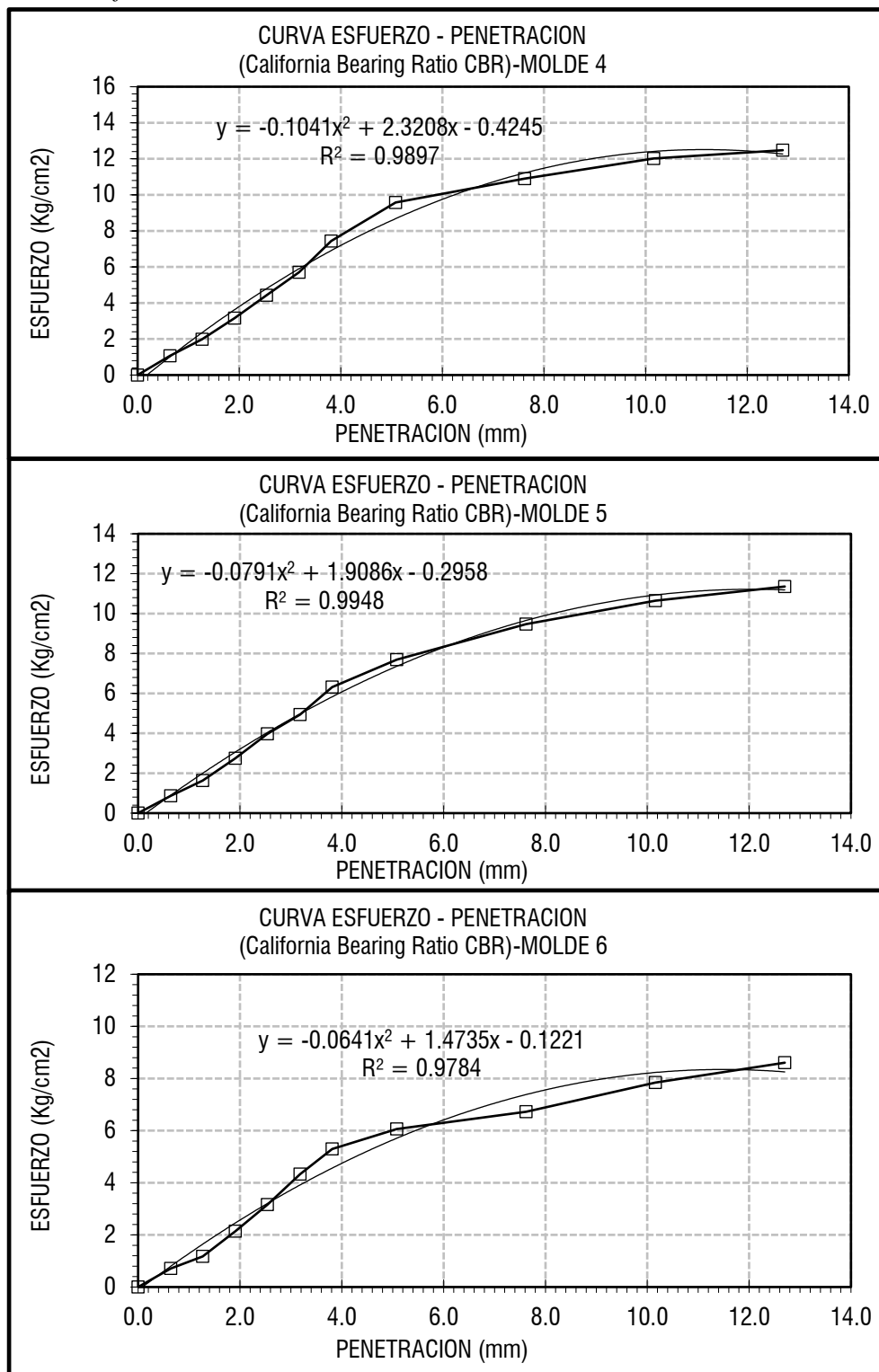
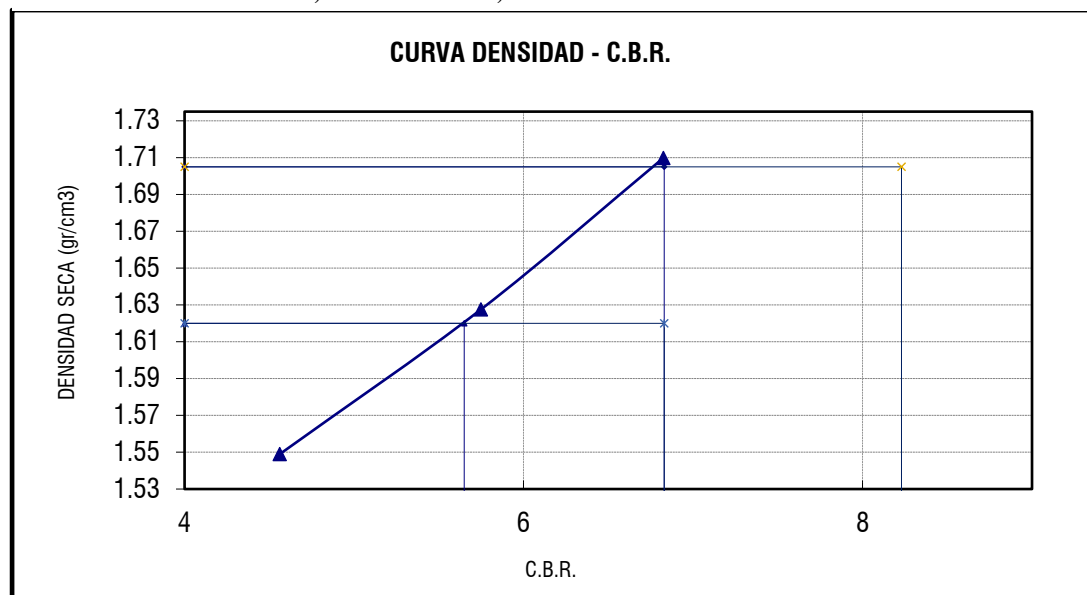
Figura 48.*Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-3, M-1.*

Figura 49.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-3, M-1.

**Tabla 58.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-3, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE N°	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	4,80	70,31	6,83	1,70
MOLDE 2	2,54	4,04	70,31	5,75	1,62
MOLDE 3	2,54	3,21	70,31	4,56	1,54
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO				VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		1,700		C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	5,65%
				C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	6,83%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		13,20		C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=	6,83%
				C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=	8,23%

Tabla 59.*Ensayo de compactación CBR, Calicata C-4, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 20 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,60 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	10		11		12	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	12875,0	13211,4	12350,0	12765,3	12352,0	12769,5
Peso Molde (gr)	8435,0	8435,0	8156,0	8156,0	8378,0	8378,0
Peso Húmedo (gr)	4440,0	4776,4	4194,0	4609,3	3974,0	4391,5
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1,914	2,059	1,808	1,987	1,713	1,893
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P.Húmedo + Tara	519,10	610,30	513,90	540,20	509,90	527,70
Peso Seco + Tara	454,50	522,40	450,00	459,50	446,70	449,00
Peso Agua (gr)	64,60	87,90	63,90	80,70	63,20	78,70
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	454,50	522,40	450,00	459,50	446,70	449,00
Contenido de Humedad	14,21%	16,83%	14,20%	17,56%	14,15%	17,53%
C. Humedad	14,21%	16,83%	14,20%	17,56%	14,15%	17,53%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,676	1,762	1,583	1,690	1,501	1,611

Tabla 60.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-4, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 10			NUMERO DE MOLDE Nº 11			NUMERO DE MOLDE Nº 12		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	44,000	1,118	0,88	61,000	1,549	1,22	70,000	1,778	1,40
48	2	74,000	1,880	1,48	93,000	2,362	1,86	121,000	3,073	2,42
72	3	97,000	2,464	1,94	129,000	3,277	2,58	168,000	4,267	3,36
96	4	113,000	2,870	2,26	153,000	3,886	3,06	211,000	5,359	4,22

Tabla 61.*Ensayo de Carga – Penetración CBR, Calicata C-4, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 10			MOLDE Nº 11			MOLDE Nº 12		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	19,20	0,98	13,97	16,00	0,81	11,64	12,80	0,65	9,31
1,27	0,050	33,60	1,71	24,45	28,00	1,43	20,37	22,40	1,14	16,30
1,91	0,075	55,20	2,81	40,16	47,20	2,40	34,34	36,00	1,83	26,19
2,54	0,100	75,20	3,83	54,71	64,80	3,30	47,15	56,00	2,85	40,74
3,18	0,125	95,20	4,85	69,26	83,20	4,24	60,53	72,80	3,71	52,97
3,81	0,150	131,20	6,68	95,46	107,20	5,46	78,00	90,40	4,60	65,77
5,08	0,200	158,40	8,07	115,25	135,20	6,89	98,37	111,20	5,66	80,91
7,62	0,300	188,00	9,57	136,78	161,60	8,23	117,57	125,60	6,40	91,38
10,16	0,400	211,20	10,76	153,66	173,60	8,84	126,31	138,40	7,05	100,70
12,70	0,500	225,60	11,49	164,14	188,00	9,57	136,78	158,40	8,07	115,25

Figura 50.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-4, M-1.

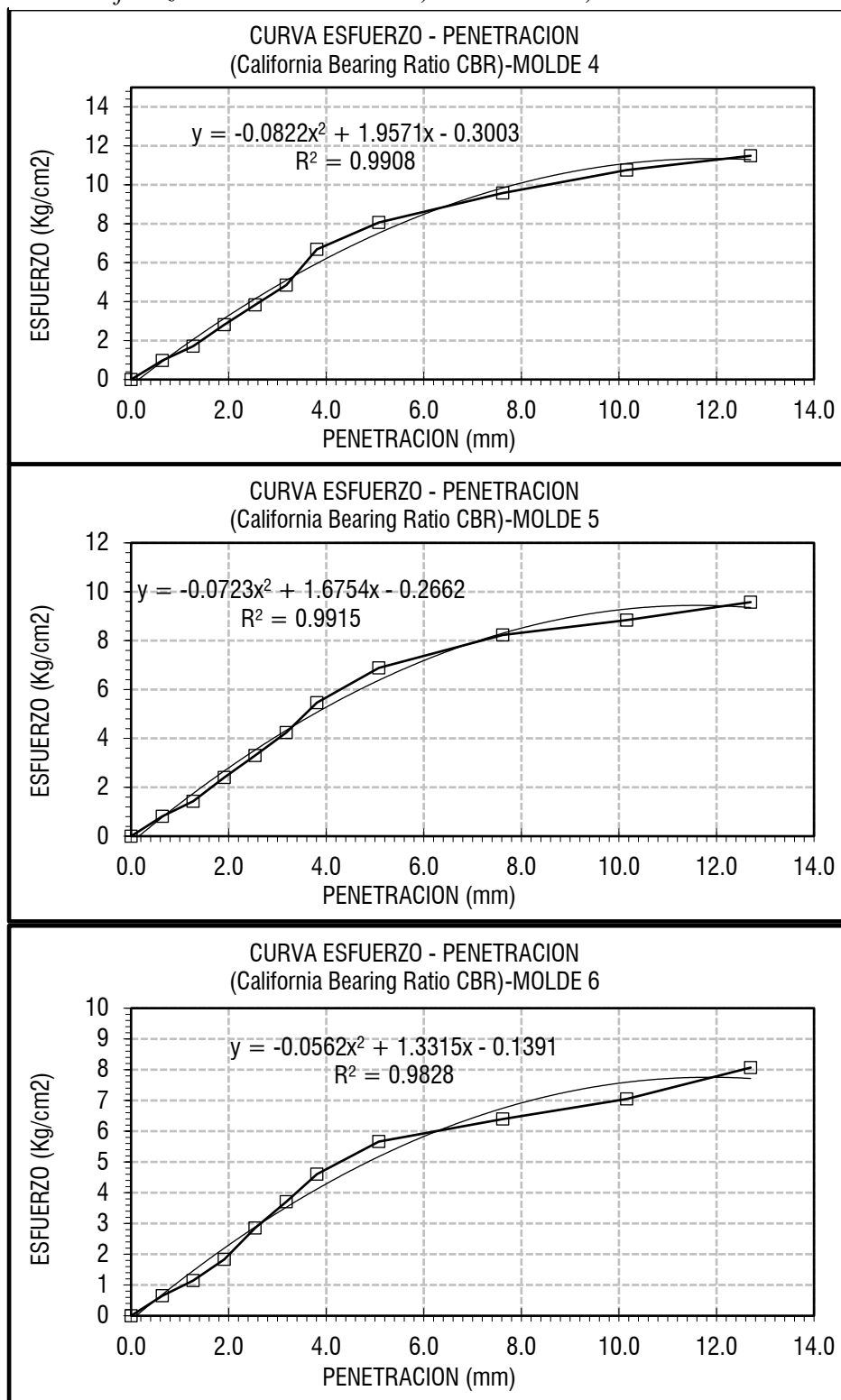
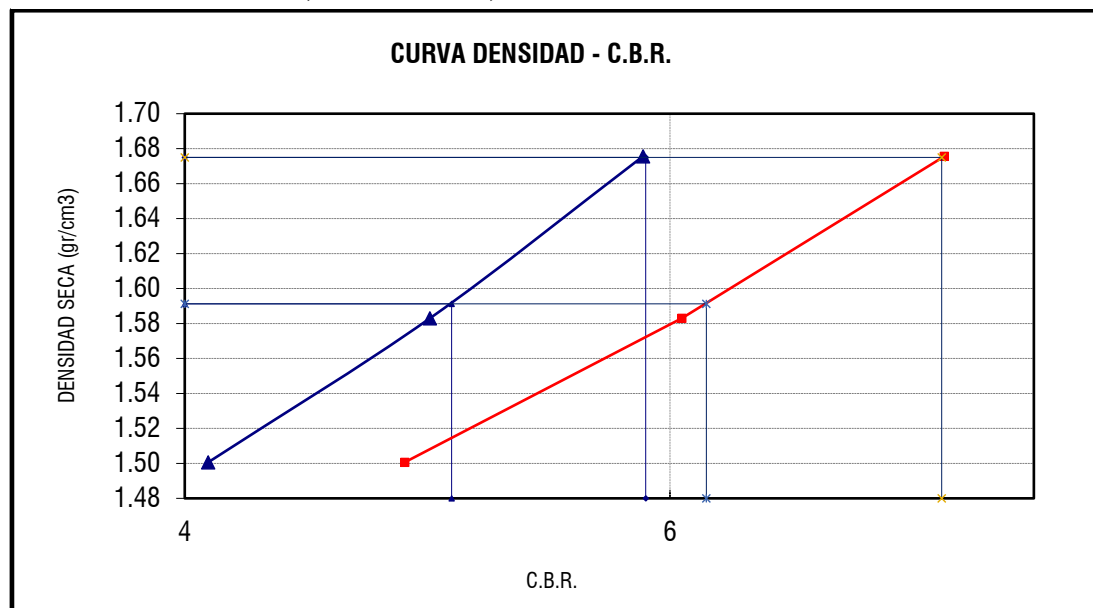


Figura 51.

Curva densidad – CBR, Calicata C-4, M-1

**Tabla 62.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-4, M-1

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	4,14	70,31	5,89	1,68
MOLDE 2	2,54	3,52	70,31	5,01	1,58
MOLDE 3	2,54	2,88	70,31	4,10	1,50
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		1,675	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		5,10%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		5,90%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		14,20	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		6,15%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		7,12%

Tabla 63.*Compactación CBR, Calicata C-5, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 24 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,20 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	19		20		21	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	13139,0	13516,2	12962,0	13230,1	12751,0	12950,0
Peso Molde (gr)	7776,0	7776,0	7848,0	7848,0	7906,0	7906,0
Peso Húmedo (gr)	5363,0	5740,2	5114,0	5382,1	4845,0	5044,0
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,312	2,474	2,204	2,320	2,088	2,174
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P. Húmedo + Tara	519,20	527,20	511,30	518,30	508,40	530,00
Peso Seco + Tara	477,10	472,00	470,20	462,50	467,28	472,30
Peso Agua (gr)	42,10	55,20	41,10	55,80	41,12	57,70
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	477,10	472,00	470,20	462,50	467,28	472,30
Contenido de Humedad	8,82%	11,69%	8,74%	12,06%	8,80%	12,22%
C. Humedad Promedio	8,82%	11,69%	8,74%	12,06%	8,80%	12,22%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,124	2,215	2,027	2,070	1,919	1,937

Tabla 64.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-5, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 19			NUMERO DE MOLDE Nº 20			NUMERO DE MOLDE Nº 21		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	21,000	0,533	0,42	32,000	0,813	0,64	38,000	0,965	0,76
48	2	43,000	1,092	0,86	49,000	1,245	0,98	59,000	1,499	1,18
72	3	55,000	1,397	1,10	54,000	1,372	1,08	81,000	2,057	1,62
96	4	72,000	1,829	1,44	82,000	2,083	1,64	89,000	2,261	1,78

Tabla 65.*Ensayo carga – penetración CBR, Calicata C-5, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 19			MOLDE Nº 20			MOLDE Nº 21		
(mm)	(pulg)	CARGA KG,	ESFUERZO		CARGA KG,	ESFUERZO		CARGA KG,	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	37,00	1,88	26,92	32,00	1,63	23,28	28,00	1,43	20,37
1,27	0,050	59,00	3,00	42,93	51,00	2,60	37,11	44,00	2,24	32,01
1,91	0,075	99,00	5,04	72,03	87,00	4,43	63,30	72,00	3,67	52,38
2,54	0,100	148,00	7,54	107,68	127,00	6,47	92,40	105,00	5,35	76,39
3,18	0,125	219,00	11,15	159,34	178,00	9,07	129,51	146,00	7,44	106,22
3,81	0,150	302,00	15,38	219,72	254,00	12,94	184,80	196,00	9,98	142,60
5,08	0,200	389,00	19,81	283,02	309,00	15,74	224,82	253,00	12,89	184,07
7,62	0,300	458,00	23,33	333,22	361,00	18,39	262,65	301,00	15,33	219,00
10,16	0,400	527,00	26,84	383,43	421,00	21,44	306,31	332,00	16,91	241,55
12,70	0,500	550,00	28,01	400,16	452,00	23,02	328,86	375,00	19,10	272,84

Tabla 66.

Curva esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-5, M-1.

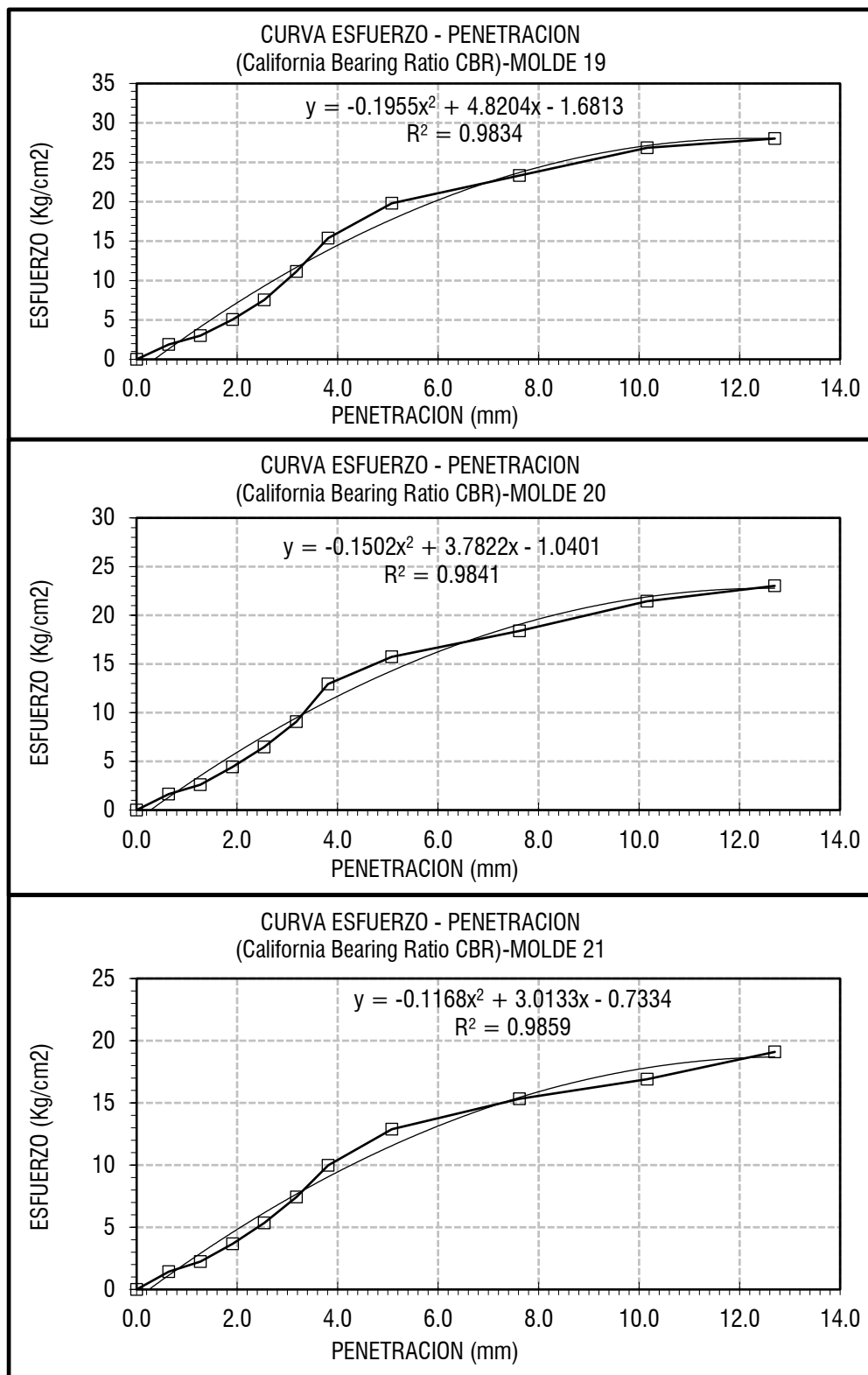
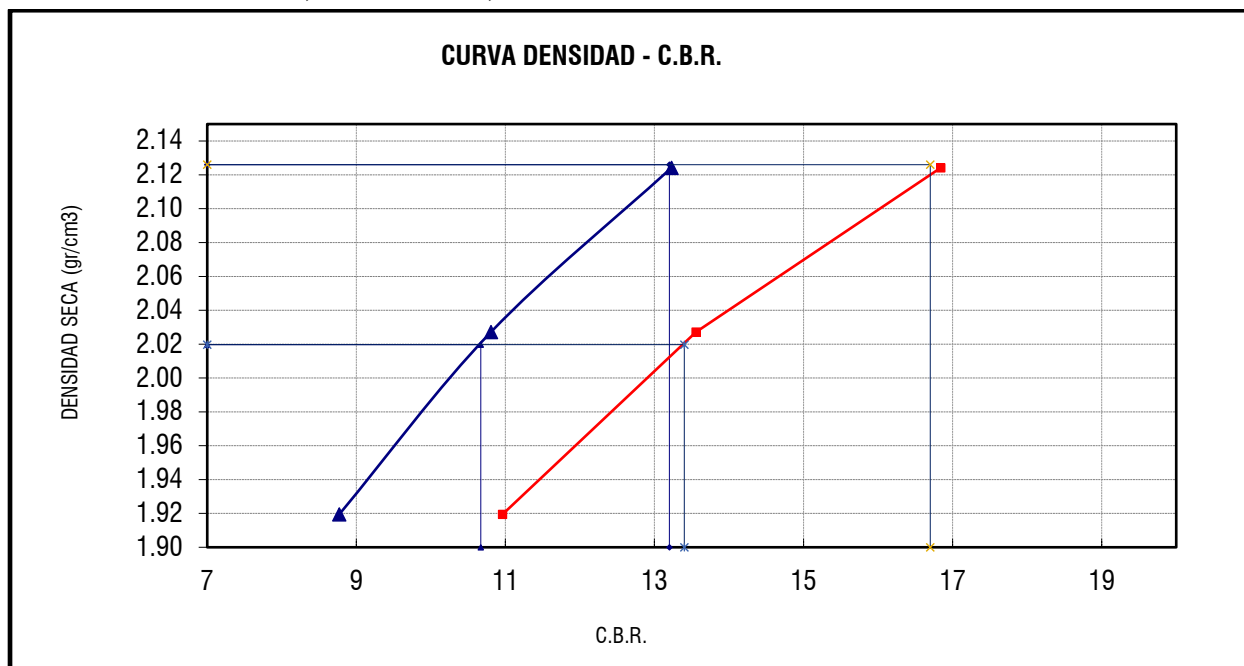


Figura 52.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-5, M-1.

**Figura 53.**

Valores de CBR, Calicata C-5, M-1.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO				VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³)	:	2,126	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	10,67%	
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%)	:	8,80	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	13,20%	
			C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=	13,40%	
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=	16,70%	
VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm ²)	PRESION PATRON (Kg/cm ²)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
MOLDE 1	2,54	9,30	70,31	13,23	2,12
MOLDE 2	2,54	7,60	70,31	10,81	2,03
MOLDE 3	2,54	6,17	70,31	8,77	1,92

Tabla 67.*Ensayo compactación – CBR, Calicata C-6, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 28 DE NOVIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,20 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	16		17		18	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P, Húmedo + Molde	13470,0	13689,5	13013,0	13262,7	12914,0	13157,2
Peso Molde (gr)	8065,0	8065,0	7879,0	7879,0	8052,0	8052,0
Peso Húmedo (gr)	5405,0	5624,5	5134,0	5383,7	4862,0	5105,2
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,330	2,424	2,213	2,321	2,096	2,201
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P,Húmedo + Tara	508,20	542,20	511,40	523,60	515,00	532,10
Peso Seco + Tara	464,40	488,20	467,60	470,50	470,90	478,30
Peso Agua (gr)	43,80	54,00	43,80	53,10	44,10	53,80
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P, Muestra Seca	464,40	488,20	467,60	470,50	470,90	478,30
Contenido de Humedad	9,43%	11,06%	9,37%	11,29%	9,37%	11,25%
C, Humedad Promedio	9,43%	11,06%	9,37%	11,29%	9,37%	11,25%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,129	2,183	2,023	2,085	1,916	1,978

Tabla 68.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-6, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 16			NUMERO DE MOLDE Nº 17			NUMERO DE MOLDE Nº 18		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	25,000	0,635	0,50	33,000	0,838	0,66	41,000	1,041	0,82
48	2	37,000	0,940	0,74	48,000	1,219	0,96	59,000	1,499	1,18
72	3	48,000	1,219	0,96	63,000	1,600	1,26	78,000	1,981	1,56
96	4	53,000	1,346	1,06	77,000	1,956	1,54	94,000	2,388	1,88

Tabla 69.*Ensayo Carga – Penetración CBR, Calicata C-6, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 16			MOLDE Nº 17			MOLDE Nº 18		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	39,00	1,99	28,38	32,00	1,63	23,28	27,00	1,38	19,64
1,27	0,050	78,00	3,97	56,75	67,00	3,41	48,75	54,00	2,75	39,29
1,91	0,075	113,00	5,76	82,21	98,00	4,99	71,30	78,00	3,97	56,75
2,54	0,100	154,00	7,84	112,05	132,00	6,72	96,04	106,00	5,40	77,12
3,18	0,125	212,00	10,80	154,24	166,00	8,45	120,78	135,00	6,88	98,22
3,81	0,150	266,00	13,55	193,53	203,00	10,34	147,70	166,00	8,45	120,78
5,08	0,200	312,00	15,89	227,00	249,00	12,68	181,16	203,00	10,34	147,70
7,62	0,300	354,00	18,03	257,56	292,00	14,87	212,45	224,00	11,41	162,97
10,16	0,400	379,00	19,30	275,75	322,00	16,40	234,28	254,00	12,94	184,80
12,70	0,500	402,00	20,47	292,48	348,00	17,72	253,19	270,00	13,75	196,44

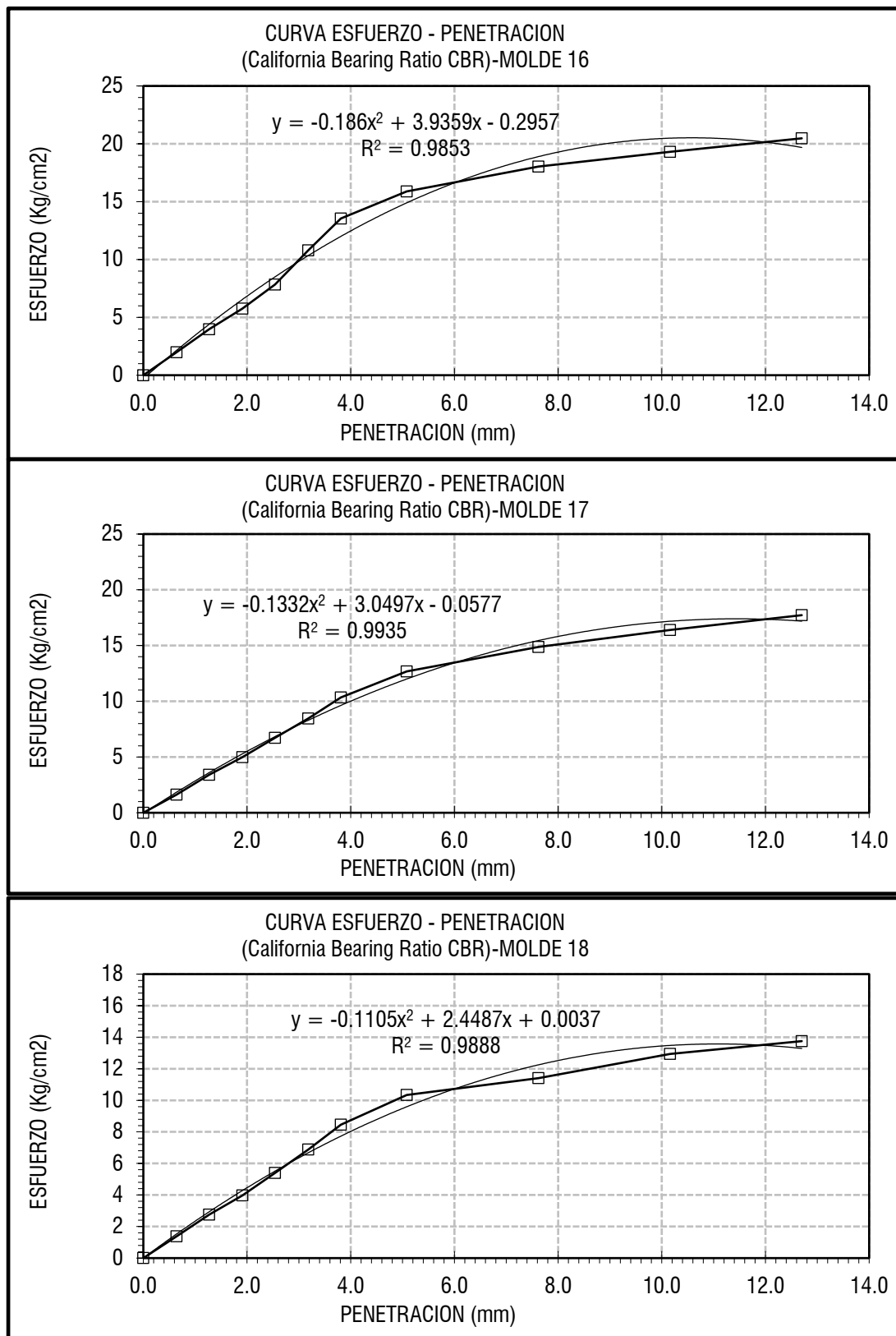
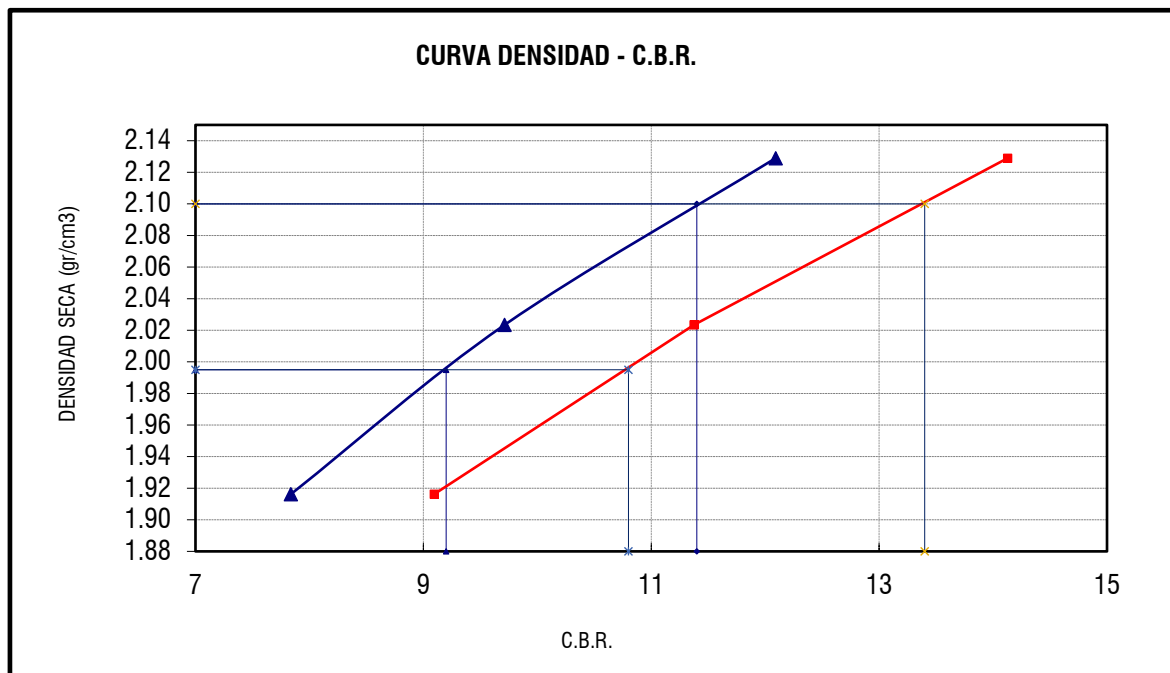
Figura 54.*Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-6, M-1.*

Figura 55.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-6, M-1.

**Tabla 70.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-6, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	8,50	70,31	12,09	2,13
MOLDE 2	2,54	6,83	70,31	9,71	2,02
MOLDE 3	2,54	5,51	70,31	7,84	1,92
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		2,100	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		9,20%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		11,40%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		9,40	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		10,80%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		13,40%

Tabla 71.*Ensayo de compactación CBR, Calicata C-7, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 02 DE DICIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,20 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	13		14		15	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P, Húmedo + Molde	13533,0	13973,1	13708,0	14197,5	13008,0	13543,0
Peso Molde (gr)	8160,0	8160,0	8590,0	8590,0	8140,0	8140,0
Peso Húmedo (gr)	5373,0	5813,1	5118,0	5607,5	4868,0	5403,0
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,316	2,506	2,206	2,417	2,098	2,329
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P,Húmedo + Tara	511,20	527,20	517,30	518,30	504,10	532,10
Peso Seco + Tara	471,40	472,00	476,80	462,50	464,40	472,30
Peso Agua (gr)	39,80	55,20	40,50	55,80	39,70	59,80
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P, Muestra Seca	471,40	472,00	476,80	462,50	464,40	472,30
Contenido de Humedad	8,44%	11,69%	8,49%	12,06%	8,55%	12,66%
C, Humedad Promedio	8,44%	11,69%	8,49%	12,06%	8,55%	12,66%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,136	2,243	2,033	2,157	1,933	2,067

Tabla 72.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-7, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE N° 13			NUMERO DE MOLDE N° 14			NUMERO DE MOLDE N° 15		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	19,000	0,483	0,38	27,000	0,686	0,54	33,000	0,838	0,66
48	2	37,000	0,940	0,74	43,000	1,092	0,86	57,000	1,448	1,14
72	3	49,000	1,245	0,98	56,000	1,422	1,12	78,000	1,981	1,56
96	4	63,000	1,600	1,26	73,000	1,854	1,46	86,000	2,184	1,72

Tabla 73.*Ensayo de Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-7, M-1.*

PENETRACION		MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			MOLDE N° 15		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	45,00	2,29	32,74	38,00	1,94	27,65	32,00	1,63	23,28
1,27	0,050	79,00	4,02	57,48	67,00	3,41	48,75	49,00	2,50	35,65
1,91	0,075	129,00	6,57	93,86	103,00	5,25	74,94	77,00	3,92	56,02
2,54	0,100	175,00	8,91	127,32	150,00	7,64	109,13	112,00	5,70	81,49
3,18	0,125	266,00	13,55	193,53	209,00	10,64	152,06	156,00	7,95	113,50
3,81	0,150	364,00	18,54	264,83	266,00	13,55	193,53	211,00	10,75	153,52
5,08	0,200	421,00	21,44	306,31	339,00	17,27	246,64	266,00	13,55	193,53
7,62	0,300	523,00	26,64	380,52	402,00	20,47	292,48	321,00	16,35	233,55
10,16	0,400	569,00	28,98	413,98	454,00	23,12	330,31	369,00	18,79	268,47
12,70	0,500	585,00	29,79	425,63	507,00	25,82	368,88	402,00	20,47	292,48

Figura 56.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata 7 – M-1.

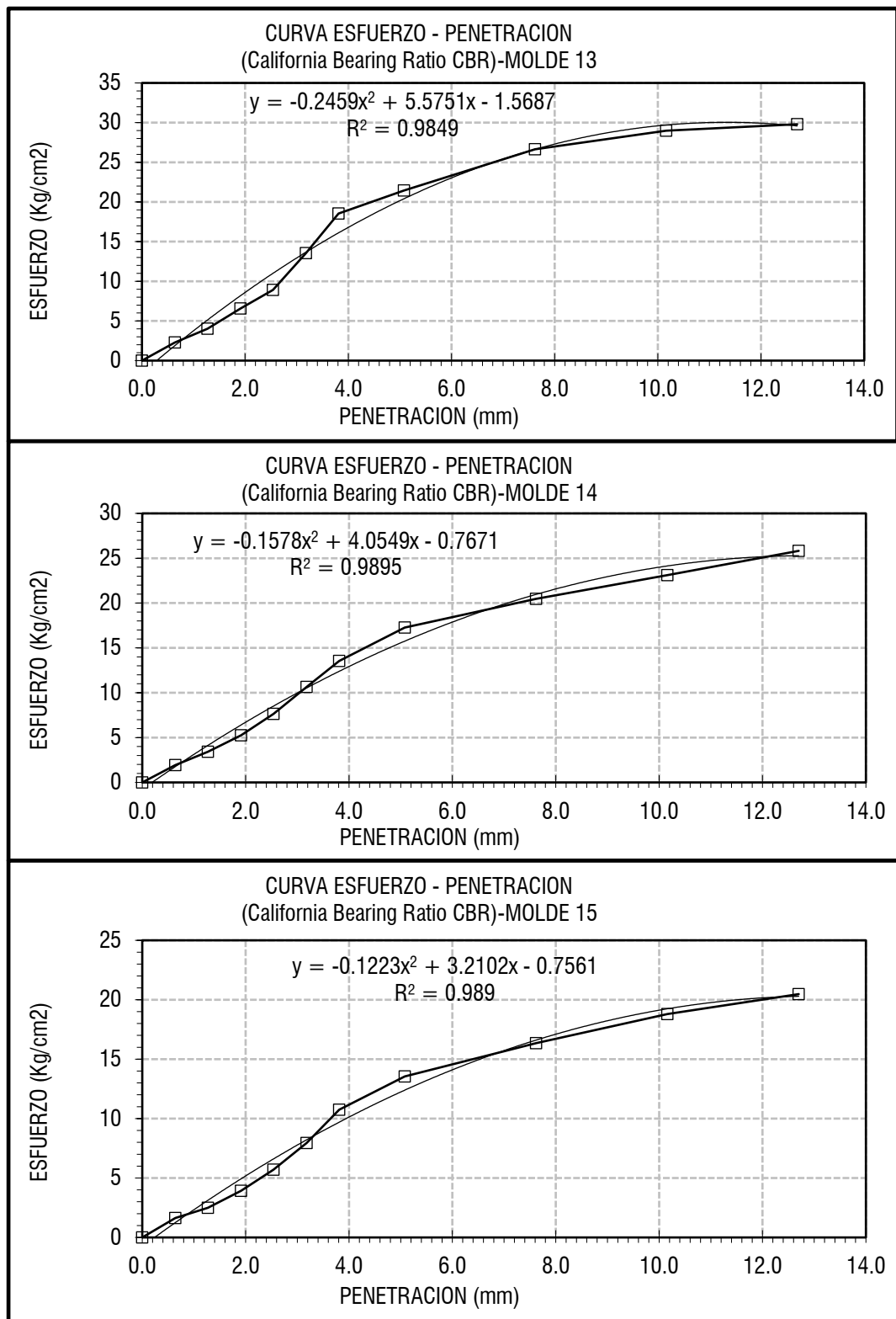
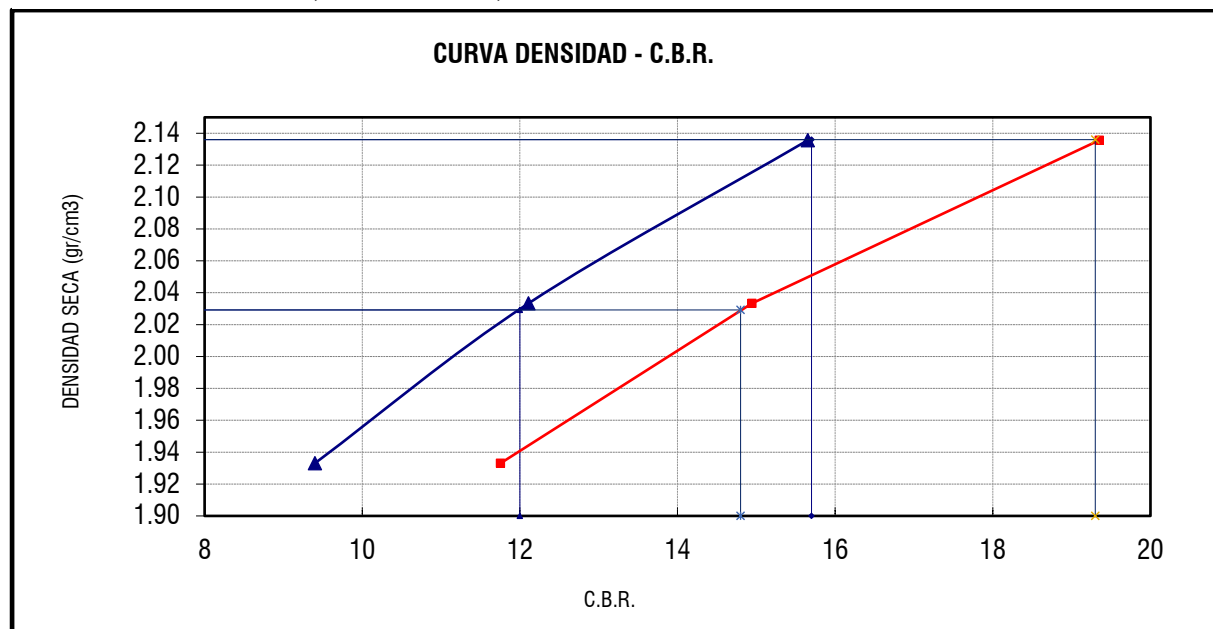


Figura 57.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-7, M-1.

**Tabla 74.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-7, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE N°	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	11,01	70,31	15,65	2,14
MOLDE 2	2,54	8,51	70,31	12,11	2,03
MOLDE 3	2,54	6,61	70,31	9,40	1,93
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		2,136	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		12,00%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		15,70%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		8,60	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		14,80%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		19,30%

Tabla 75.*Ensayo de Compactación CBR, Calicata C-8, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06 DE DICIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,60 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	22		23		24	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	12535,3	12758,6	12585,0	12827,1	12230,0	12532,5
Peso Molde (gr)	8021,0	8021,0	8264,0	8264,0	8136,0	8136,0
Peso Húmedo (gr)	4514,3	4737,6	4321,0	4563,1	4094,0	4396,5
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1,946	2,042	1,863	1,967	1,765	1,895
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P.Húmedo + Tara	513,70	512,50	508,70	547,20	509,30	484,70
Peso Seco + Tara	460,60	452,30	456,10	482,30	456,80	425,30
Peso Agua (gr)	53,10	60,20	52,60	64,90	52,50	59,40
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	460,60	452,30	456,10	482,30	456,80	425,30
Contenido de Humedad	11,53%	13,31%	11,53%	13,46%	11,49%	13,97%
C. Humedad	11,53%	13,31%	11,53%	13,46%	11,49%	13,97%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,745	1,802	1,670	1,734	1,583	1,663

Tabla 76.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-8, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 22			NUMERO DE MOLDE Nº 23			NUMERO DE MOLDE Nº 24		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	63,000	1,600	1,26	87,000	2,210	1,74	106,000	2,692	2,12
48	2	84,000	2,134	1,68	132,000	3,353	2,64	184,000	4,674	3,68
72	3	112,000	2,845	2,24	178,000	4,521	3,56	213,000	5,410	4,26
96	4	132,000	3,353	2,64	213,000	5,410	4,26	245,000	6,223	4,90

Tabla 77.*Ensayo de Penetración CBR, Calicata C-8, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 22			MOLDE Nº 23			MOLDE Nº 24		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	31,00	1,58	22,55	28,00	1,43	20,37	25,00	1,27	18,19
1,27	0,050	49,00	2,50	35,65	41,00	2,09	29,83	37,00	1,88	26,92
1,91	0,075	79,00	4,02	57,48	68,00	3,46	49,47	58,00	2,95	42,20
2,54	0,100	119,00	6,06	86,58	97,00	4,94	70,57	83,00	4,23	60,39
3,18	0,125	164,00	8,35	119,32	137,00	6,98	99,68	116,00	5,91	84,40
3,81	0,150	198,00	10,08	144,06	183,00	9,32	133,14	141,00	7,18	102,59
5,08	0,200	256,00	13,04	186,26	219,00	11,15	159,34	184,00	9,37	133,87
7,62	0,300	309,00	15,74	224,82	253,00	12,89	184,07	219,00	11,15	159,34
10,16	0,400	348,00	17,72	253,19	292,00	14,87	212,45	237,00	12,07	172,43
12,70	0,500	367,00	18,69	267,02	315,00	16,04	229,18	264,00	13,45	192,08

Figura 58.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-8, M-1.

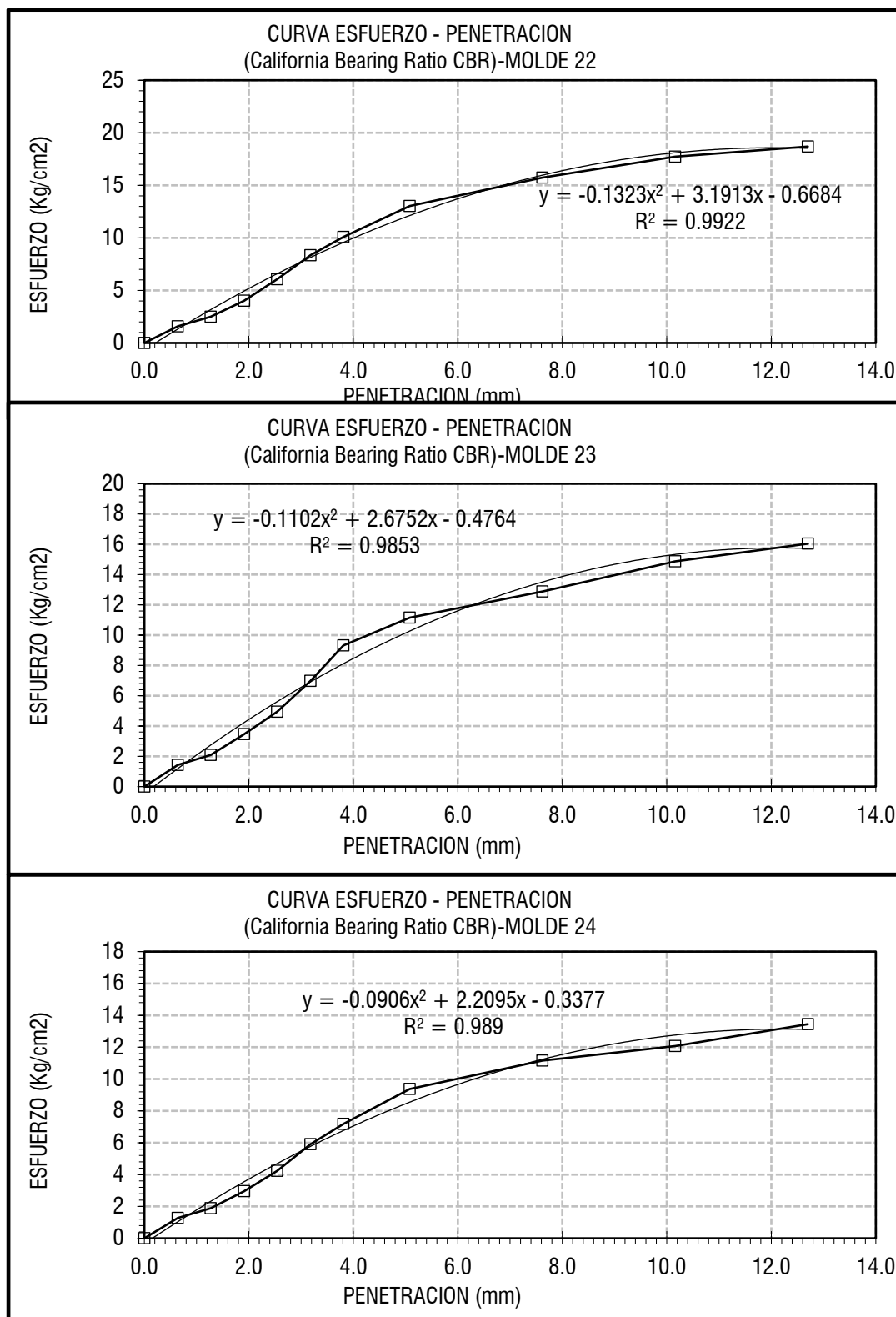
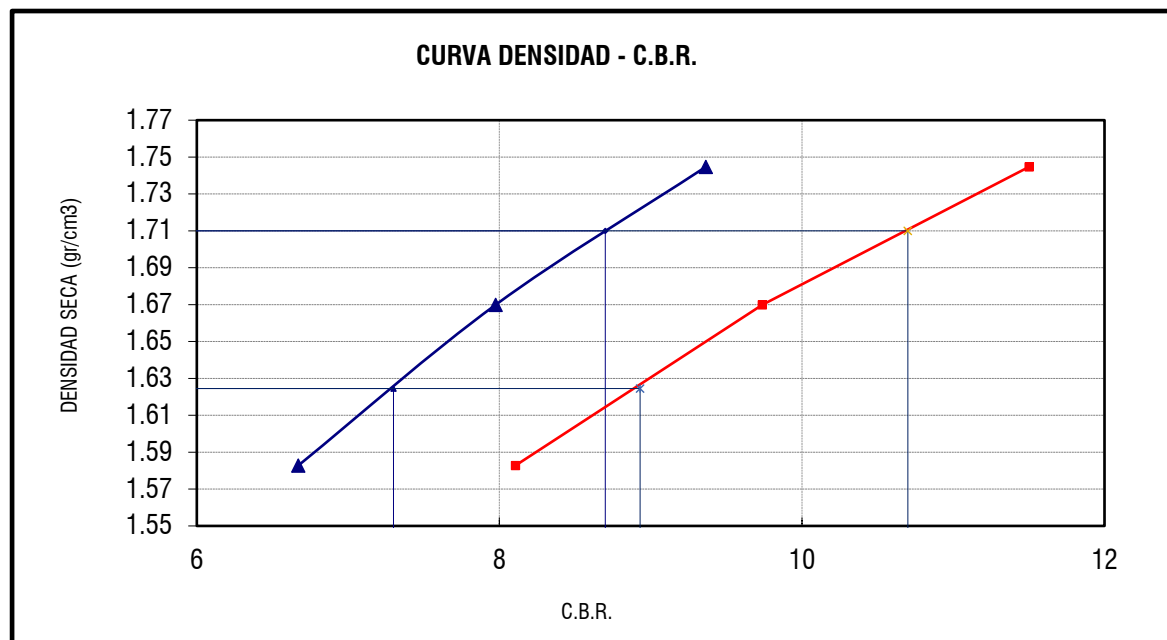


Figura 59.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-8, M-1.

**Tabla 78.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-8, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE N°	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	6,58	70,31	9,36	1,74
MOLDE 2	2,54	5,61	70,31	7,98	1,67
MOLDE 3	2,54	4,69	70,31	6,67	1,58
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		1,710	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		7,30%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		8,70%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		13,20	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		8,93%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		10,70%

Tabla 79.*Ensayo de Compactación CBR, Calicata C-9, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 10 DE DICIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,20 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	1		2		3	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	13247,0	13406,0	13478,0	13811,7	13318,0	13792,4
Peso Molde (gr)	7830,0	7830,0	8328,0	8328,0	8421,0	8421,0
Peso Húmedo (gr)	5417,0	5576,0	5150,0	5483,7	4897,0	5371,4
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,335	2,403	2,220	2,364	2,111	2,315
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P.Húmedo + Tara	514,30	475,00	532,30	500,00	519,40	537,00
Peso Seco + Tara	477,00	435,70	494,00	453,60	481,60	482,00
Peso Agua (gr)	37,30	39,30	38,30	46,40	37,80	55,00
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	477,00	435,70	494,00	453,60	481,60	482,00
Contenido de Humedad	7,82%	9,02%	7,75%	10,23%	7,85%	11,41%
C. Humedad	7,82%	9,02%	7,75%	10,23%	7,85%	11,41%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,166	2,205	2,060	2,144	1,957	2,078

Tabla 80.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-9, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 1			NUMERO DE MOLDE Nº 2			NUMERO DE MOLDE Nº 3		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	14,000	0,356	0,28	19,000	0,483	0,38	28,000	0,711	0,56
48	2	27,000	0,686	0,54	34,000	0,864	0,68	46,000	1,168	0,92
72	3	39,000	0,991	0,78	47,000	1,194	0,94	63,000	1,600	1,26
96	4	54,000	1,372	1,08	62,000	1,575	1,24	77,000	1,956	1,54

Tabla 81.*Ensayo de Carga – Penetración CBR, Calicata C-9, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	44,00	2,24	32,01	39,00	1,99	28,38	34,00	1,73	24,74
1,27	0,050	76,00	3,87	55,29	68,00	3,46	49,47	60,00	3,06	43,65
1,91	0,075	123,00	6,26	89,49	103,00	5,25	74,94	93,00	4,74	67,66
2,54	0,100	184,00	9,37	133,87	150,00	7,64	109,13	127,00	6,47	92,40
3,18	0,125	256,00	13,04	186,26	213,00	10,85	154,97	170,00	8,66	123,69
3,81	0,150	340,00	17,32	247,37	279,00	14,21	202,99	217,00	11,05	157,88
5,08	0,200	452,00	23,02	328,86	359,00	18,28	261,20	259,00	13,19	188,44
7,62	0,300	521,00	26,53	379,06	431,00	21,95	313,58	324,00	16,50	235,73
10,16	0,400	565,00	28,78	411,07	478,00	24,34	347,78	366,00	18,64	266,29
12,70	0,500	602,00	30,66	437,99	497,00	25,31	361,60	405,00	20,63	294,66

Figura 60.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-9, M-1.

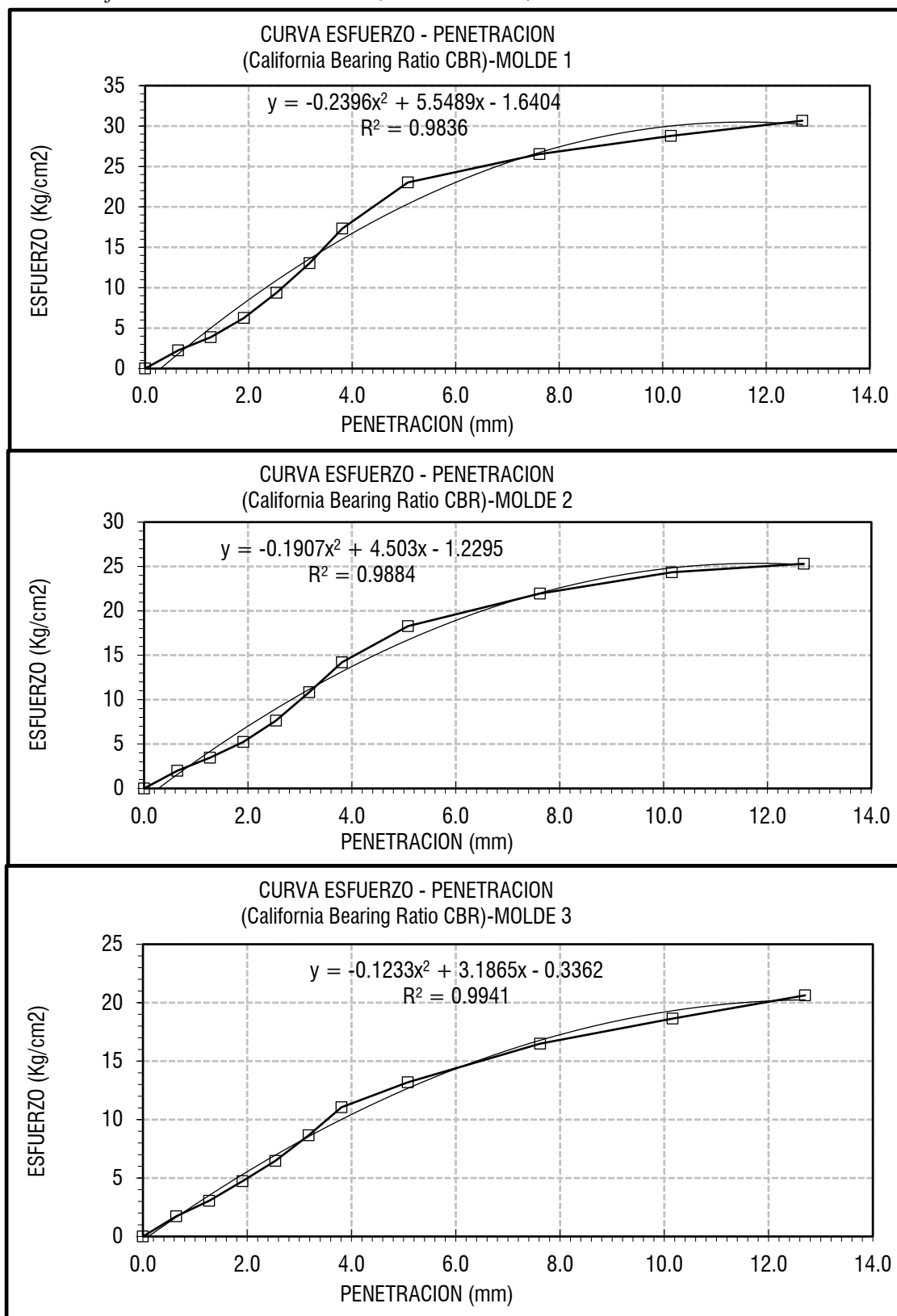
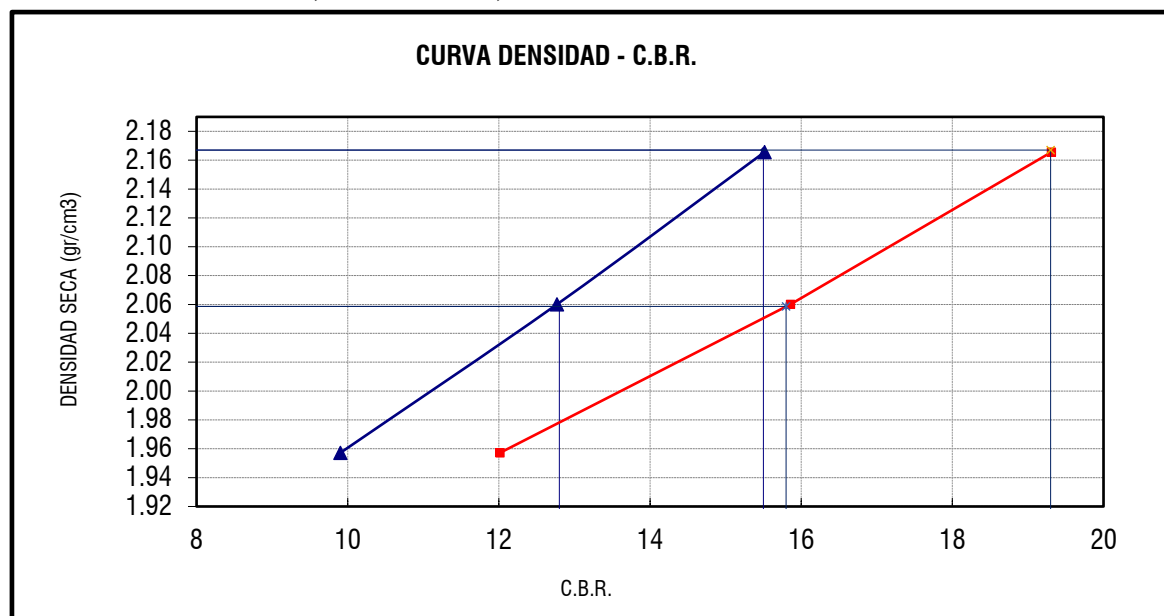


Figura 61.

Curva Densidad – CBR, Calicata C-9, M-1.

**Tabla 82.**

Valores corregidos de CBR, Calicata C-9, M-1.

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE N°	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm2)	PRESION PATRON (Kg/cm2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	2,54	10,91	70,31	15,51	2,17
MOLDE 2	2,54	8,98	70,31	12,77	2,06
MOLDE 3	2,54	6,96	70,31	9,90	1,96
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3) :		2,167	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		12,80%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		15,50%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		7,80	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		15,80%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		19,30%

Tabla 83.*Ensayo de Compactación CBR, Calicata 10, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 14 DE DICIEMBRE DEL 2018			PROFUNDIDAD DE ESTRATO: 0,70 m - 1,00 m			
NUMERO MOLDE	28		29		30	
Altura Molde (mm)	127		127		127	
N° Capas	5		5		5	
N°Golpes x Capa	56		25		12	
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húmedo + Molde	13328,0	13672,9	13154,0	13527,4	12759,0	13146,8
Peso Molde (gr)	7924,0	7924,0	7891,0	7891,0	7705,0	7705,0
Peso Húmedo (gr)	5404,0	5748,9	5263,0	5636,4	5054,0	5441,8
Volumen del Molde (cm3)	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00	2320,00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2,329	2,478	2,269	2,429	2,178	2,346
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
P.Húmedo + Tara	520,00	542,30	510,80	518,90	480,50	495,80
Peso Seco + Tara	481,10	490,00	472,80	468,00	444,90	446,50
Peso Agua (gr)	38,90	52,30	38,00	50,90	35,60	49,30
Peso Tara (gr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Muestra Seca	481,10	490,00	472,80	468,00	444,90	446,50
Contenido de Humedad	8,09%	10,67%	8,04%	10,88%	8,00%	11,04%
C. Humedad	8,09%	10,67%	8,04%	10,88%	8,00%	11,04%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,155	2,239	2,100	2,191	2,017	2,112

Tabla 84.*Ensayo de hinchamiento, Calicata C-10, M-1.*

TIEMPO ACUMULADO		NUMERO DE MOLDE Nº 28			NUMERO DE MOLDE Nº 29			NUMERO DE MOLDE Nº 30		
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
24	1	16,000	0,406	0,32	22,000	0,559	0,44	35,000	0,889	0,70
48	2	32,000	0,813	0,64	40,000	1,016	0,80	52,000	1,321	1,04
72	3	42,000	1,067	0,84	52,000	1,321	1,04	78,000	1,981	1,56
96	4	60,000	1,524	1,20	75,000	1,905	1,50	84,000	2,134	1,68

Tabla 85.*Ensayo de Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-10, M-1.*

PENETRACION		MOLDE Nº 28			MOLDE Nº 29			MOLDE Nº 30		
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO		CARGA KG.	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	48,40	2,46	35,21	42,90	2,18	31,21	37,40	1,90	27,21
1,27	0,050	83,60	4,26	60,82	74,80	3,81	54,42	66,00	3,36	48,02
1,91	0,075	135,30	6,89	98,44	113,30	5,77	82,43	93,00	4,74	67,66
2,54	0,100	202,40	10,31	147,26	165,00	8,40	120,05	139,70	7,11	101,64
3,18	0,125	281,60	14,34	204,88	234,30	11,93	170,47	187,00	9,52	136,05
3,81	0,150	374,00	19,05	272,11	306,90	15,63	223,29	238,70	12,16	173,67
5,08	0,200	497,20	25,32	361,75	394,90	20,11	287,32	284,90	14,51	207,28
7,62	0,300	573,10	29,19	416,97	474,10	24,15	344,94	356,40	18,15	259,30
10,16	0,400	621,50	31,65	452,18	525,80	26,78	382,55	402,60	20,50	292,92
12,70	0,500	662,20	33,73	481,79	546,70	27,84	397,76	445,50	22,69	324,13

Figura 62.

Curva Esfuerzo – Penetración CBR, Calicata C-10, M-1.

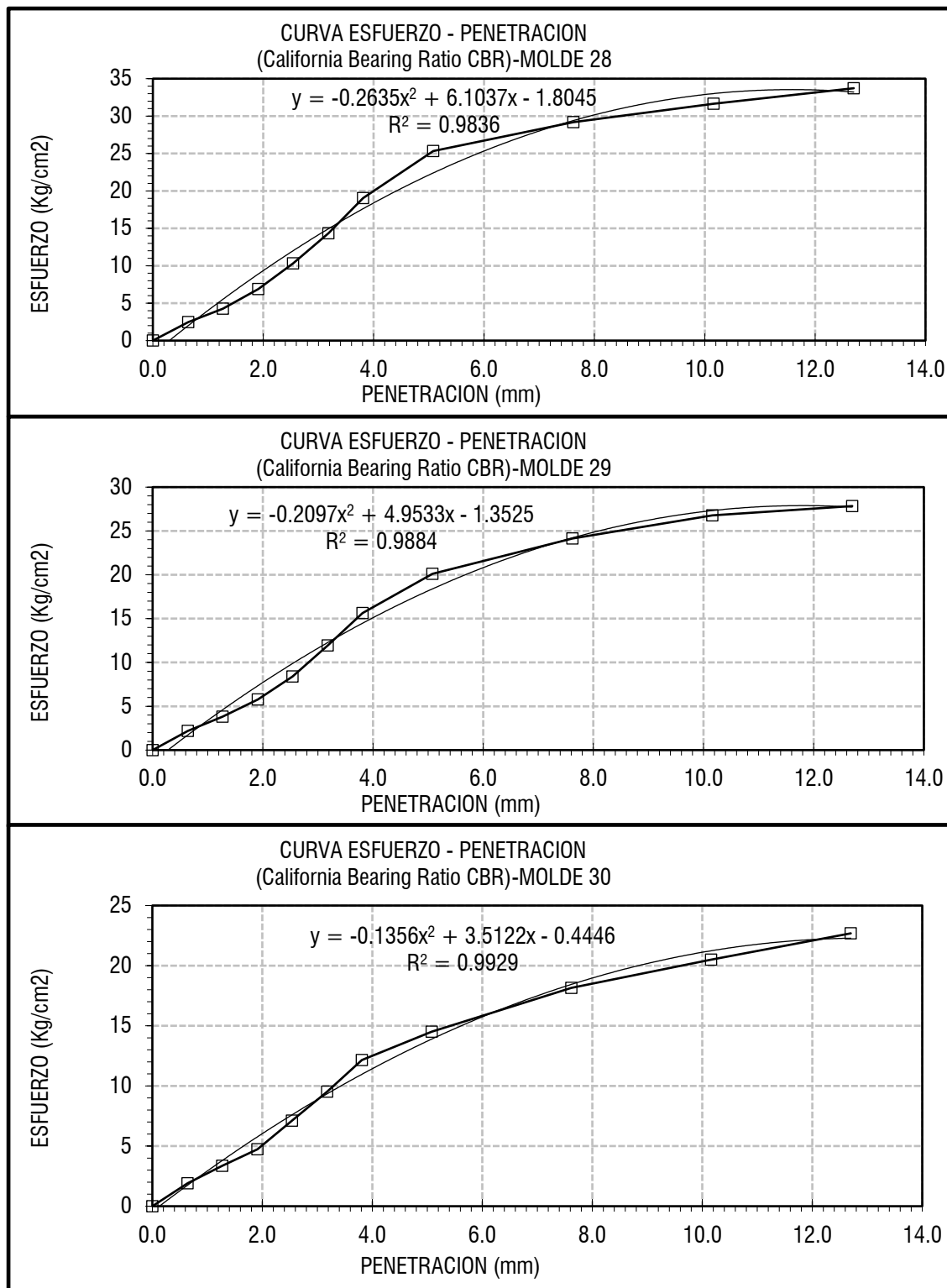
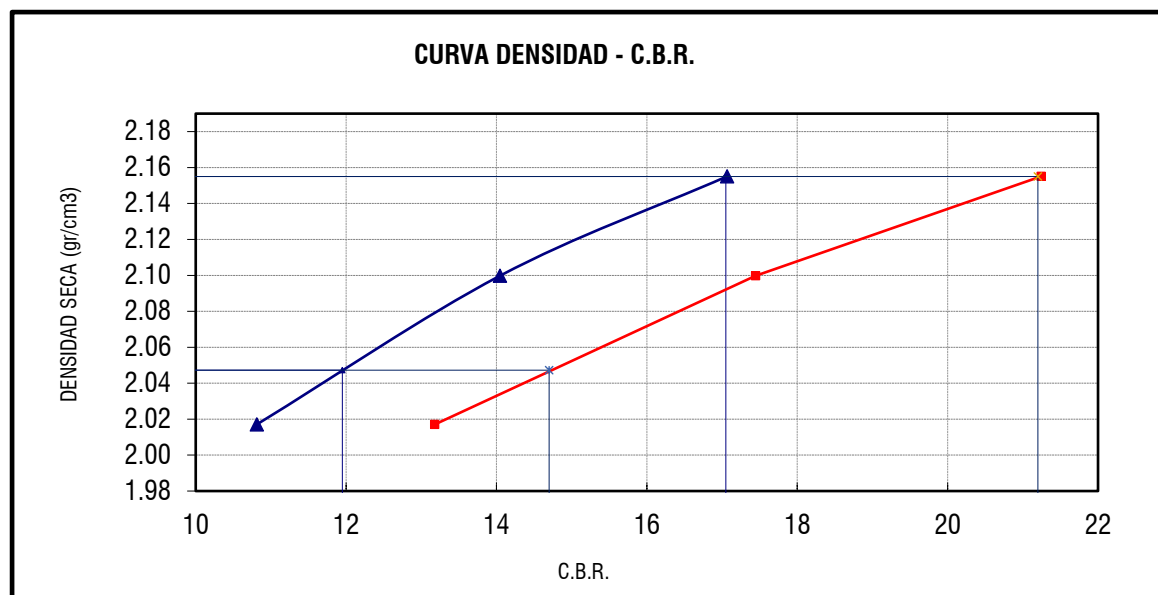


Figura 63.*Curva Densidad – CBR, Calicata C-10, M-1.***Figura 64.***Valores corregidos de CBR, Calicata C-10, M-1.*

VALORES DE CBR CORREGIDOS CON 0,1" DE PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRAC. (mm)	PRESION APLICADA CORREGIDA (Kg/cm ²)	PRESION PATRON (Kg/cm ²)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
MOLDE 1	2,54	12,00	70,31	17,07	2,16
MOLDE 2	2,54	9,88	70,31	14,05	2,10
MOLDE 3	2,54	7,60	70,31	10,81	2,02
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.		
DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³) :		2,155	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=		11,95%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=		17,05%
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO (%) :		8,30	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,2")=		14,70%
			C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,2")=		21,20%

APÉNDICE E

**ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL
NIVEL 0,00 DEL INICIO DE ENSAYO DE
PENETROMETRO DINAMICA (PDC)**

Tabla 86.*Ensayo de peso unitario del suelo in situ.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/21					
UBICACIÓN DEL ENSAYO					
PROGRESIVA (Km.)	0+020	0+500	1+000	1+500	2+000
ENSAYO Nº	1	2	3	4	5
CALICATA:	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
CARRIL/LADO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
PESO ESPECIFICO APARENTE (ASTM D1556)					
1, PESO DE LA ARENA + EL FRASCO (gr)	6850	6820	6795	6770	6752
2, PESO SUELO HUMEDO DEL HUECO (gr)	5245	5185	5199	5097	5052
3, PESO DE LA ARENA QUE QUEDA EN EL FRASCO (gr)	1902	1892	1799	1632	1584
4, PESO DE LA ARENA DEL HUECO + PESO ARENA DEL CONO (gr)	4948	4928	4996	5138	5168
5, PESO ARENA DEL CONO (gr)	1650,0	1650,0	1650,0	1650,0	1650,0
6, PESO ARENA DEL HUECO (gr)	3298	3278	3346	3488	3518
7, DENSIDAD DE LA ARENA (gr/cc)	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
8, VOLUMEN DEL HUECO (cm ³)	2407	2393	2442	2546	2568
14, DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO (gr/cc)	2,179	2,167	2,129	2,002	1,967
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 4643					
PESO M, HUMEDA + TARA (gr)	422	548	523	520	514
PESO M, SECA + TARA (gr)	413	530	510	478	499
PESO DE AGUA (gr)	9	18	13	42	15
PESO DE TARA (gr)	98	95	102	105	77
PESO DE MUESTRA SECA (gr)	404	512	497	436	484
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2,23	3,52	2,62	9,63	3,10
RESUMEN DE ENSAYO					
DENSIDAD SECA DE CAMPO (gr/cc,)	2,13	2,09	2,07	1,83	1,91
DENSIDAD HUMEDA DE CAMPO (gr/cc,)	2,18	2,17	2,13	2,00	1,97

Tabla 87.*Ensayo de peso unitario del suelo in situ.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/21					
UBICACIÓN DEL ENSAYO					
PROGRESIVA (Km.)	2+500	3+000	3+500	4+000	4+100
ENSAYO Nº	6	7	8	9	10
CALICATA:	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
CARRIL/LADO	IZQUIERDO	DERECHO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
PESO ESPECIFICO APARENTE (ASTM D1556)					
1, PESO DE LA ARENA + EL FRASCO (gr)	6740	6722	6701	6680	6652
2, PESO SUELO HUMEDO DEL HUECO (gr)	4820	5002	5002	5477	5730
3, PESO DE LA ARENA QUE QUEDA EN EL FRASCO (gr)	1720	1572	1705	1632	1549
4, PESO DE LA ARENA DEL HUECO + PESO ARENA DEL CONO (gr)	5020	5150	4996	5048	5103
5, PESO ARENA DEL CONO (gr)	1650,0	1650,0	1650,0	1650,0	1650,0
6, PESO ARENA DEL HUECO (gr)	3370	3500	3346	3398	3453
7, DENSIDAD DE LA ARENA (gr/cc)	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
8, VOLUMEN DEL HUECO (cm3)	2460	2555	2442	2480	2520
14, DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO (gr/cc)	1,959	1,958	2,048	2,208	2,273
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 4643					
PESO M, HUMEDA + TARA (gr)	514	423	384	476	389
PESO M, SECA + TARA (gr)	500	410	370	460	377
PESO DE AGUA (gr)	14	13	14	16	12
PESO DE TARA (gr)	95	77	105	88	102
PESO DE MUESTRA SECA (gr)	486	397	356	444	365
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2,88	3,27	3,93	3,60	3,29
RESUMEN DE ENSAYO					
DENSIDAD SECA DE CAMPO (gr/cc,)	1,90	1,90	1,97	2,13	2,20
DENSIDAD HUMEDA DE CAMPO (gr/cc,)	1,96	1,96	2,05	2,21	2,27

APÉNDICE F

ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINAMICA DE CONA (PDC) (ASTM D 6951M-09)

Tabla 88.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-1, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0	0	0	0,0	0,00
100	27	27	19	3,7	67,38
200	26	53	37	3,8	64,59
300	23	76	53	4,3	56,30
400	14	90	63	7,1	32,29
500	13	103	72	7,7	29,72
600	13	116	81	7,7	29,72
700	11	127	89	9,1	24,65
800	6	133	93	16,7	12,50
900	5	138	97	20,0	10,19
1000	5	143	100	20,0	10,19

ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA	VALOR OBTENIDO (%)
$CBR = 292 / (PDC)^{1,12}$	ASTM D 6951 M - 09	10,87

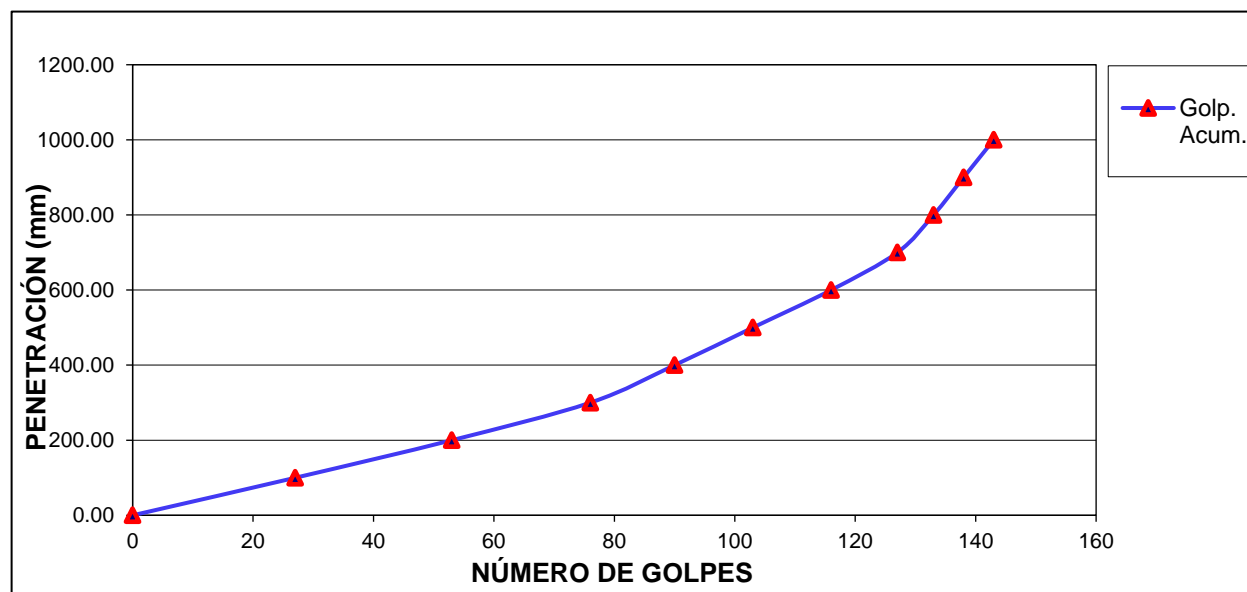
Figura 65.*Curva PDC, Calicata C-1, M-1.*

Figura 66.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-1, M-1.

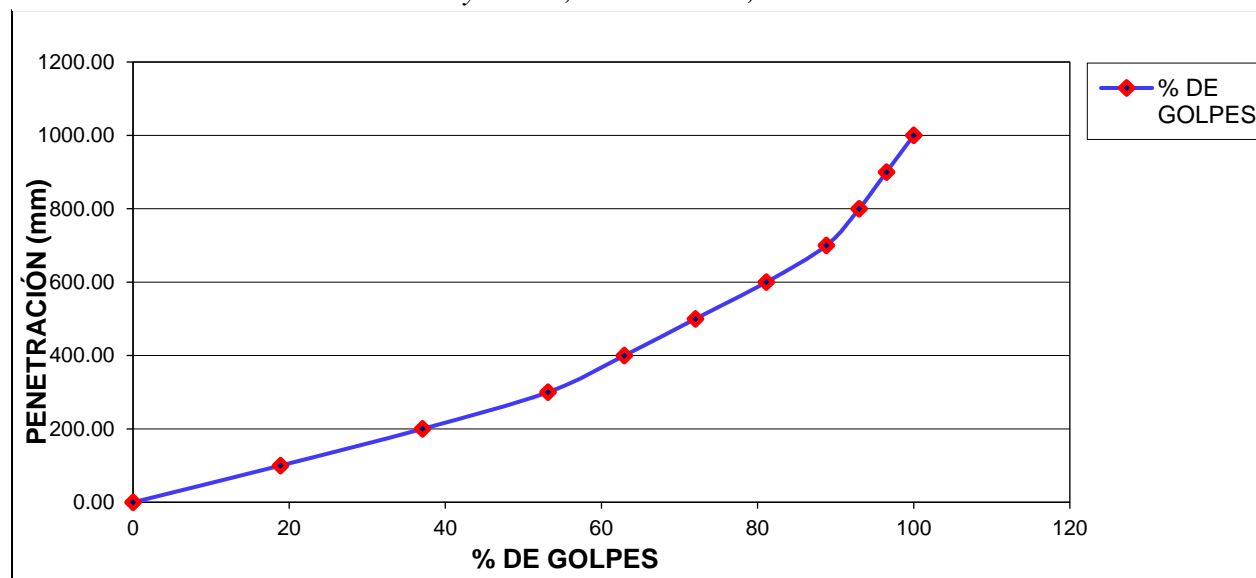
**Figura 67.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-1, M-1.

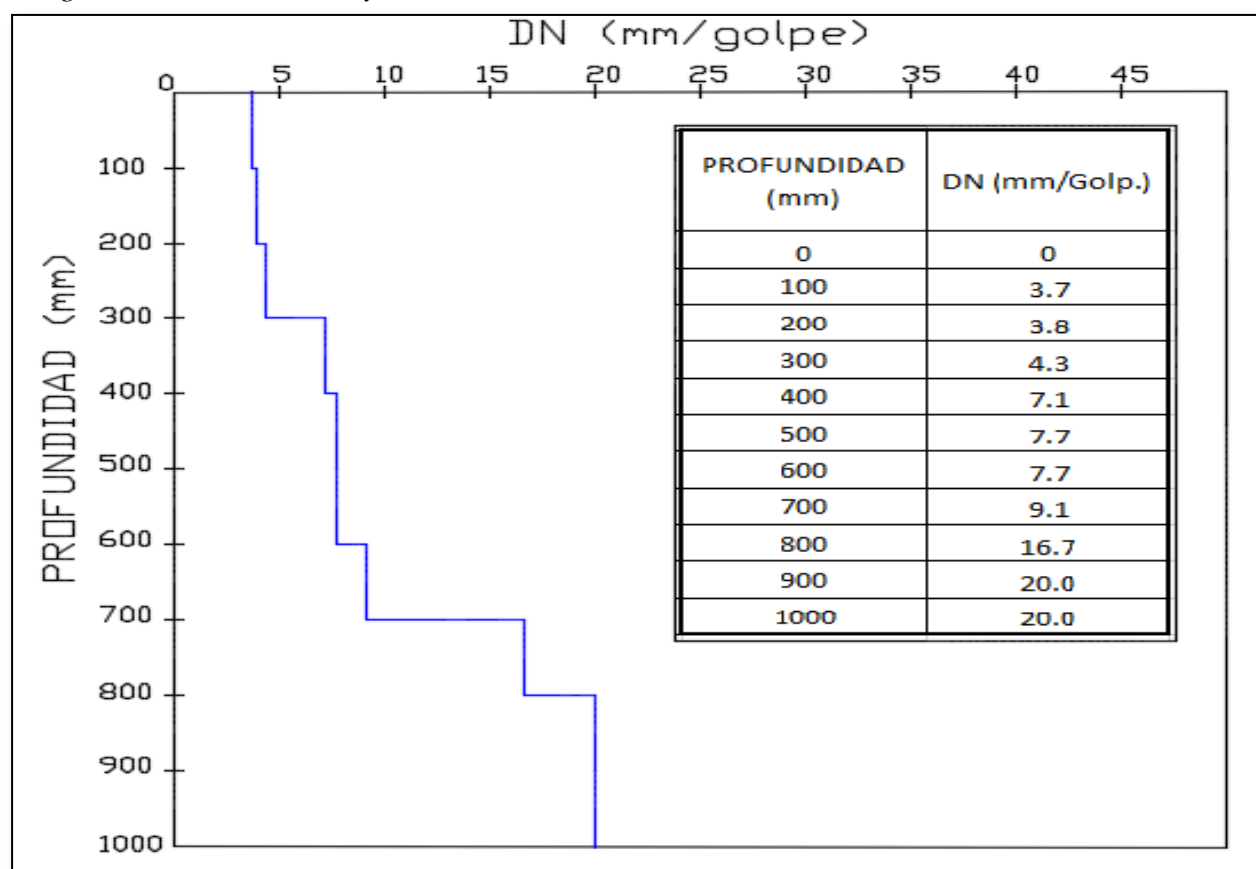


Tabla 89.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-2, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0	0	0	0,0	0,00
100	25	25	17	4,0	61,81
200	23	48	34	4,3	56,30
300	24	72	50	4,2	59,05
400	17	89	62	5,9	40,13
500	14	103	72	7,1	32,29
600	15	118	83	6,7	34,88
700	11	129	90	9,1	24,65
800	5	134	94	20,0	10,19
900	4	138	97	25,0	7,94
1000	5	143	100	20,0	10,19
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
$CBR = 292 / (PDC)^{1,12}$	ASTM D 6951 M - 09			9,32	

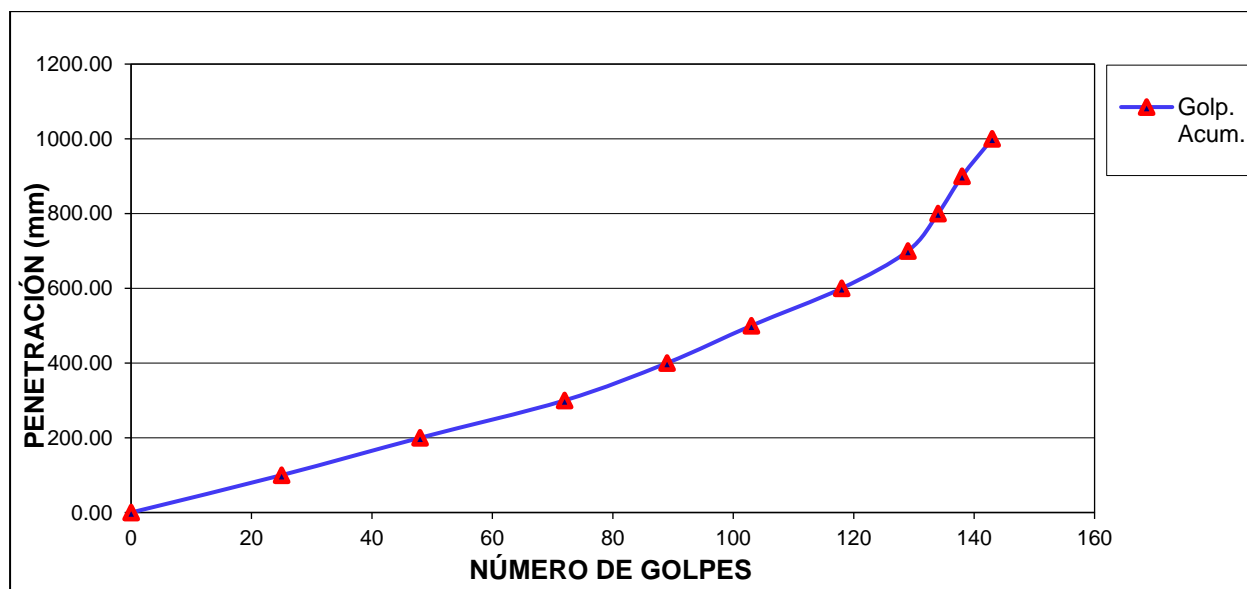
Figura 68.*Curva PDC, Calicata C-2, M-1*

Figura 69.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-2, M-1.

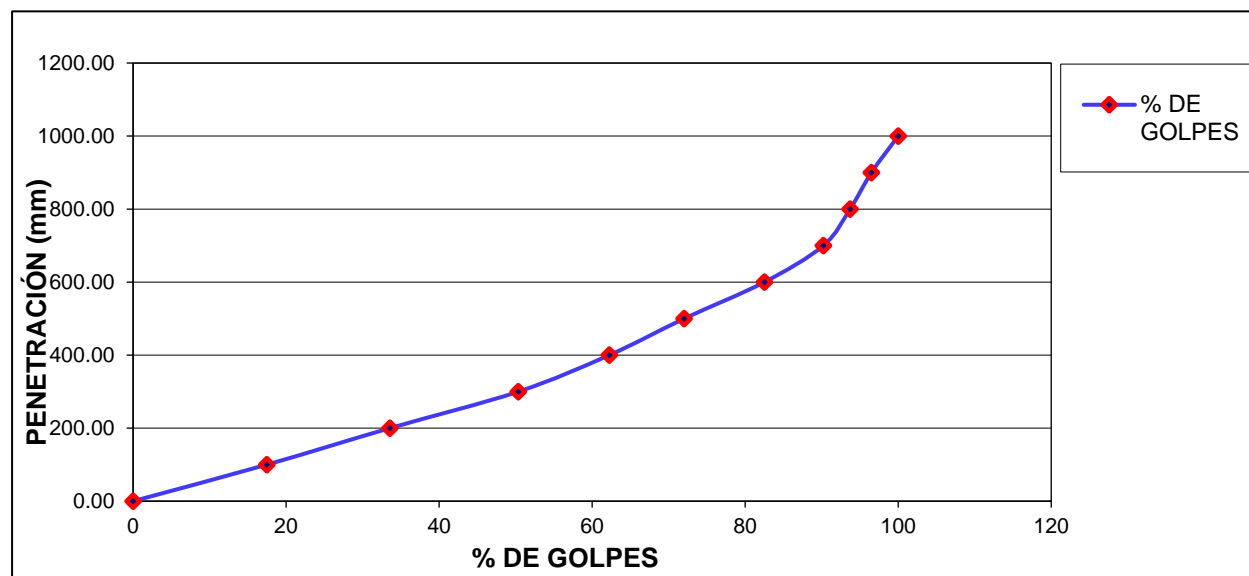
**Figura 70.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-2, M-1.

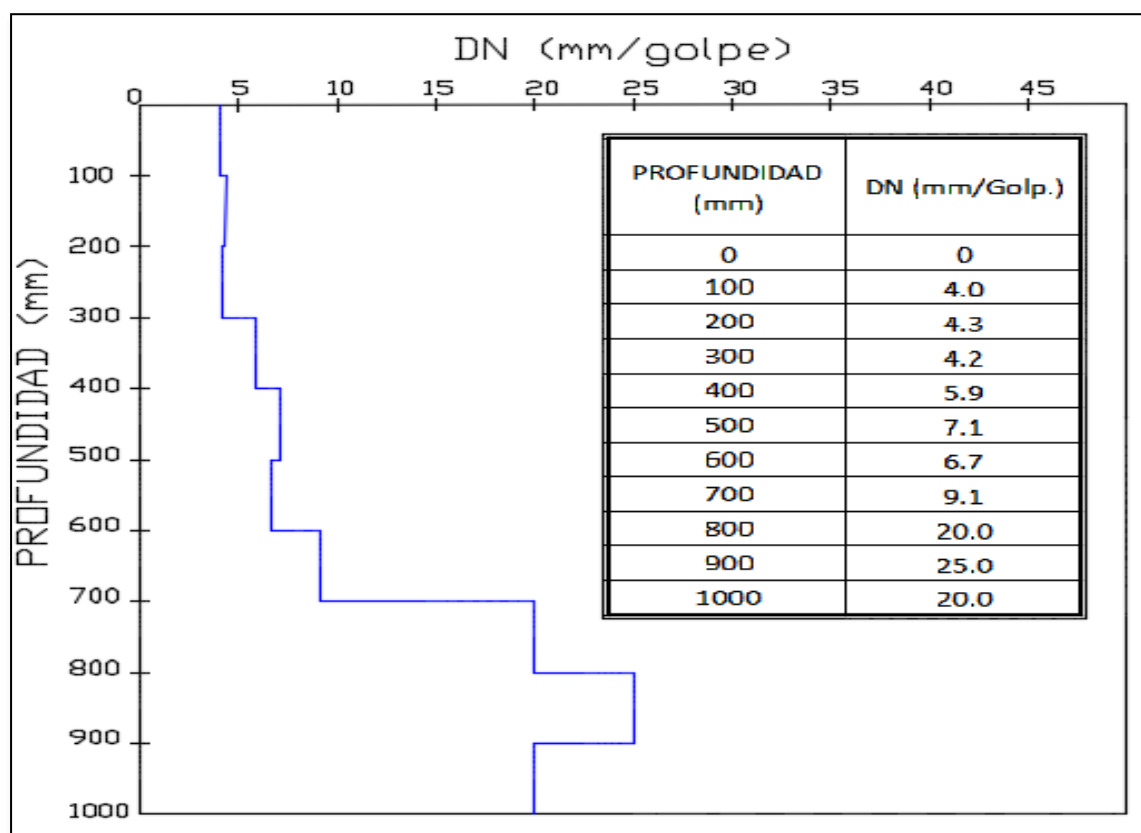


Tabla 90.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-3, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0	0	0	0,0	0,00
100	23	23	20	4,3	56,30
200	21	44	39	4,8	50,85
300	15	59	52	6,7	34,88
400	13	72	63	7,7	29,72
500	13	85	75	7,7	29,72
600	11	96	84	9,1	24,65
700	7	103	90	14,3	14,86
800	4	107	94	25,0	7,94
900	4	111	97	25,0	7,94
1000	3	114	100	33,3	5,75
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
$CBR = 292 / (PDC)^{1,12}$	ASTM D 6951 M - 09			7,05	

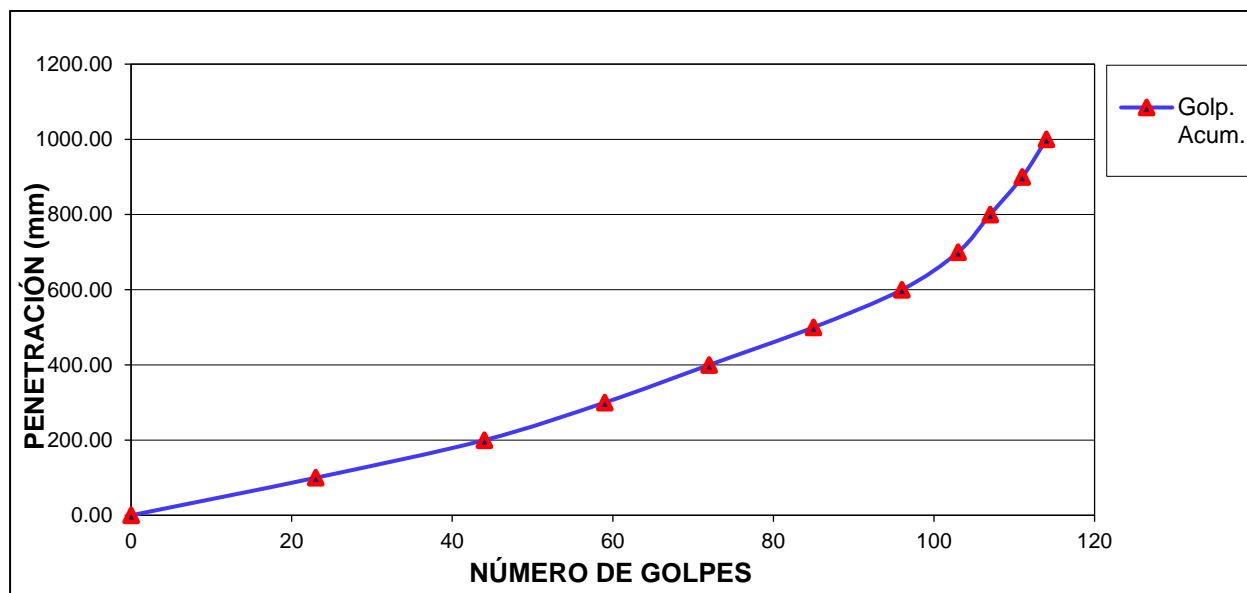
Figura 71.*Curva PDC, Calicata C-3, M-1*

Figura 72.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-3, M-1.

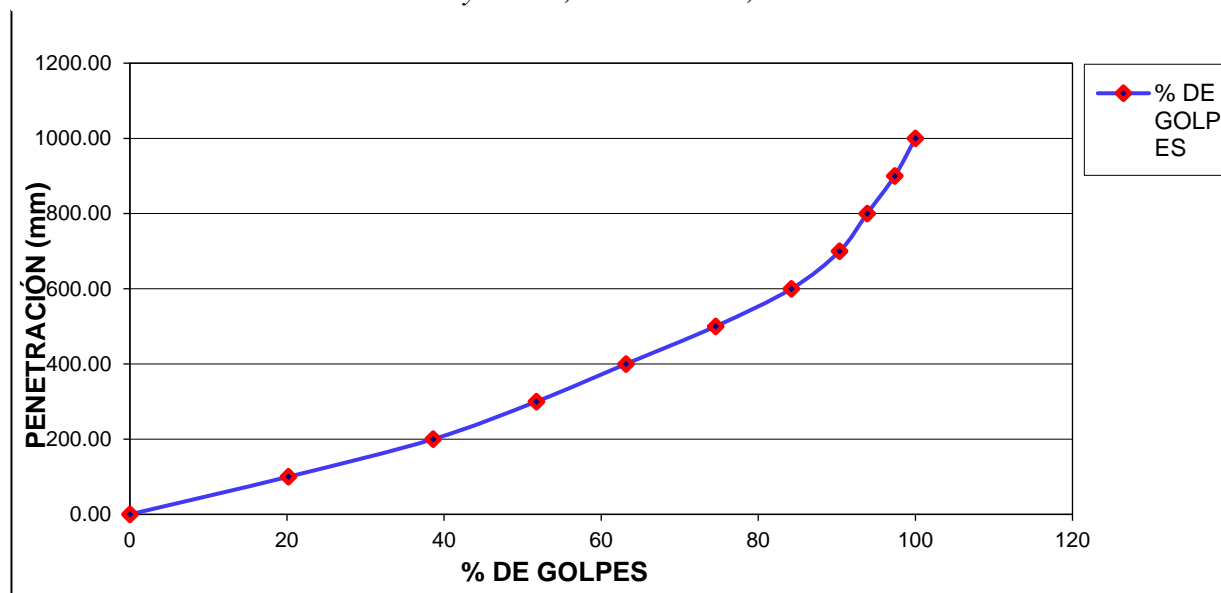
**Figura 73.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-3, M-1.

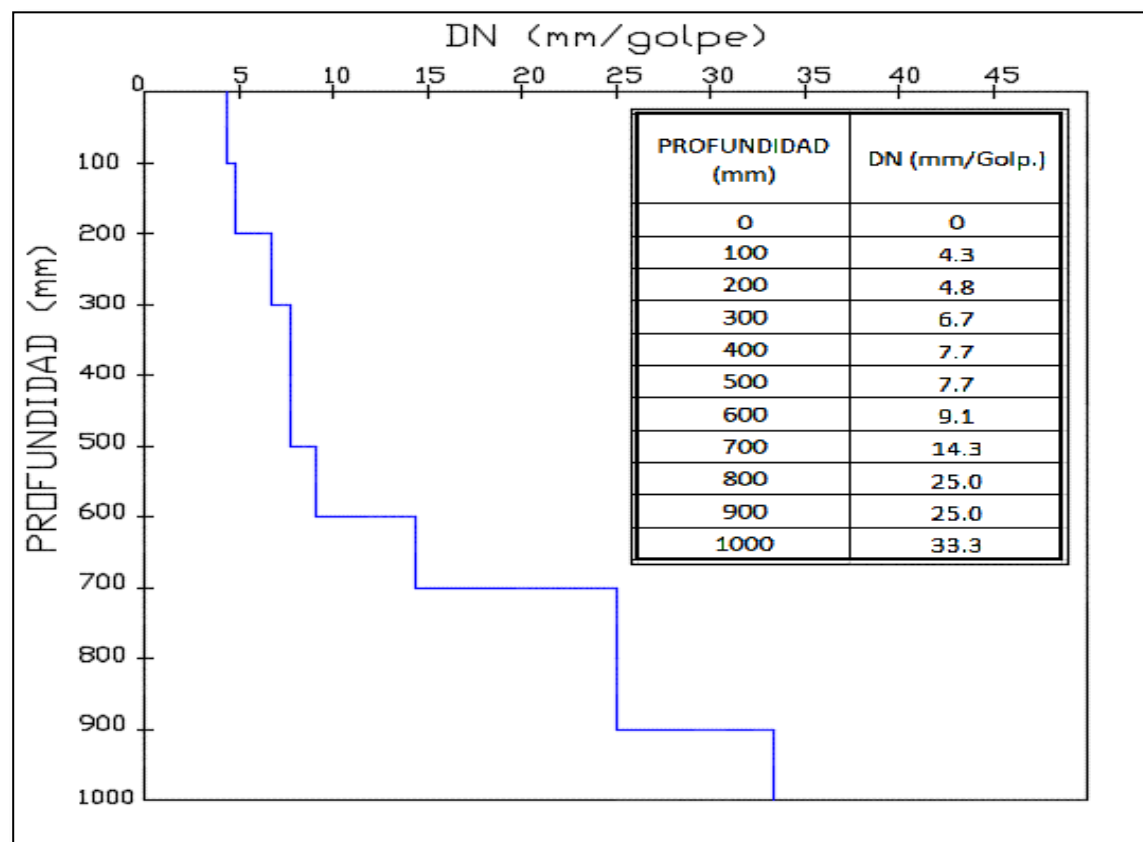


Tabla 91.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-4, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	16,00	16	19	6,25	37,50
200	15,00	31	37	6,67	34,88
300	9,00	40	48	11,11	19,68
400	10,00	50	60	10,00	22,15
500	9,00	59	70	11,11	19,68
600	9,00	68	81	11,11	19,68
700	6,00	74	88	16,67	12,50
800	4,00	78	93	25,00	7,94
900	3,00	81	96	33,33	5,75
1000	3,00	84	100	33,33	5,75
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			6,34	

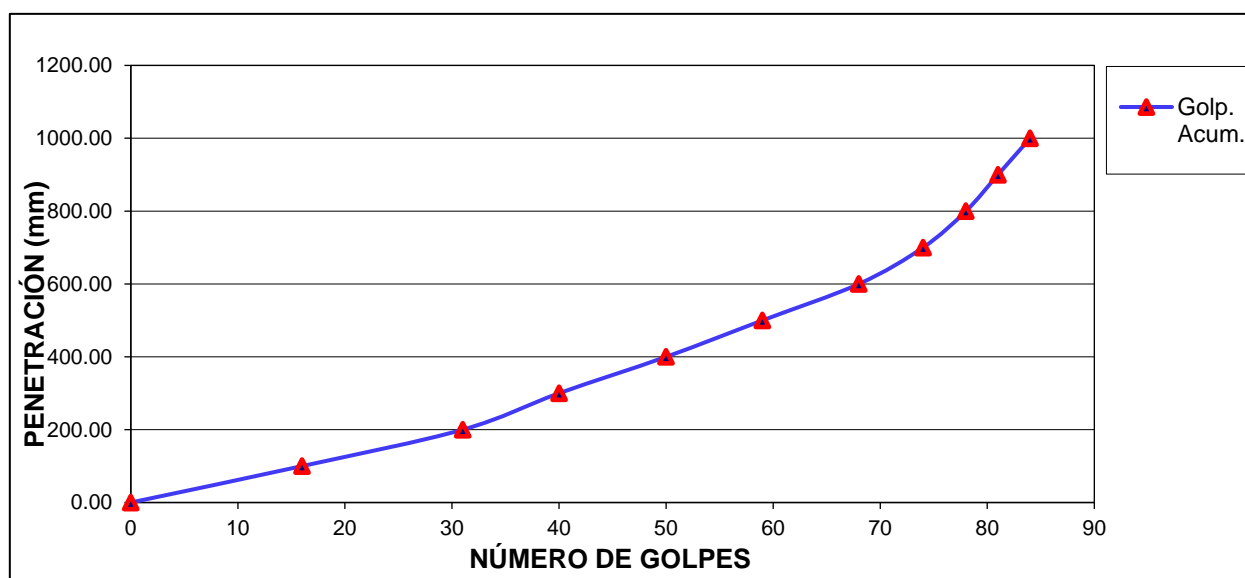
Figura 74.*Curva PDC, Calicata C-4, M-1.*

Figura 75.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-4, M-1.

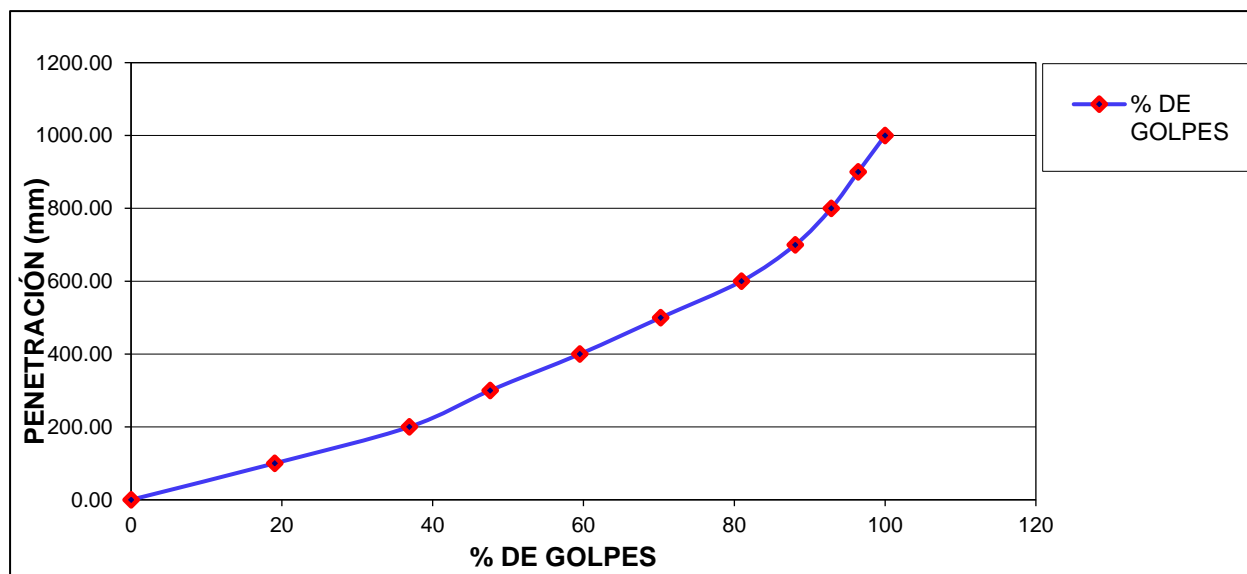
**Figura 76.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-4, M-1.

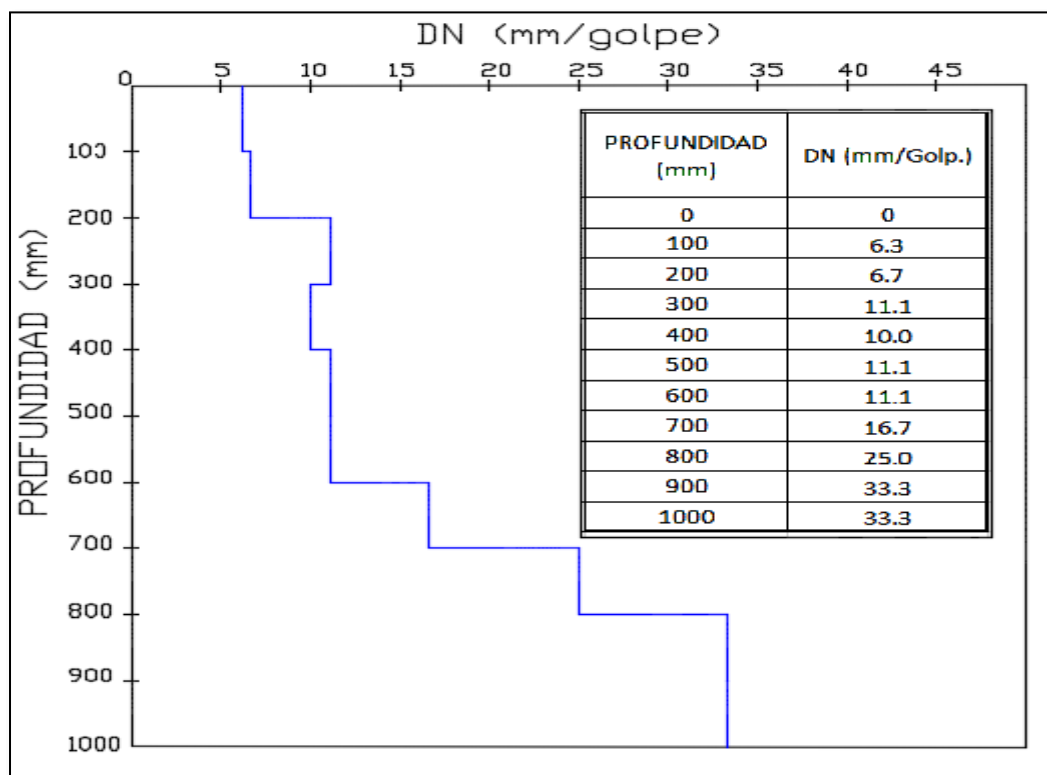


Tabla 92.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-5, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 05/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	20,00	20	18	5,00	48,14
200	17,00	37	33	5,88	40,13
300	12,00	49	44	8,33	27,17
400	13,00	62	55	7,69	29,72
500	10,00	72	64	10,00	22,15
600	9,00	81	72	11,11	19,68
700	9,00	90	80	11,11	19,68
800	7,00	97	87	14,29	14,86
900	8,00	105	94	12,50	17,25
1000	7,00	112	100	14,29	14,86

ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA	VALOR OBTENIDO (%)
$CBR = 292 / (PDC)^{1,12}$	ASTM D 6951 M - 09	15,58

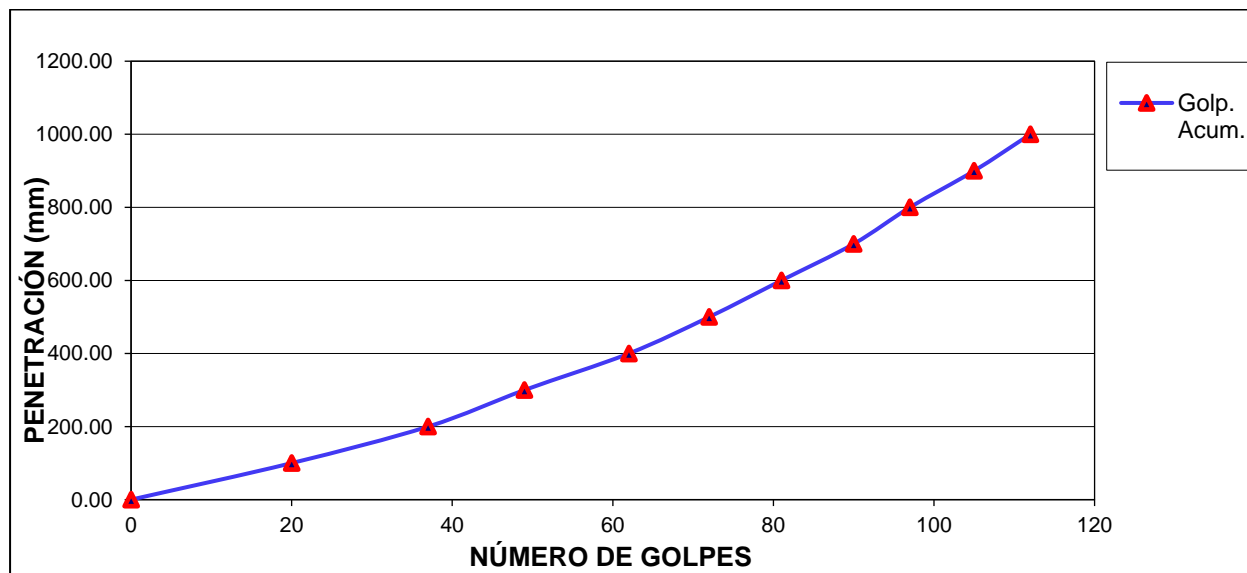
Figura 77.*Curva PDC, Calicata C-5, M-1.*

Figura 78.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-5, M-1.

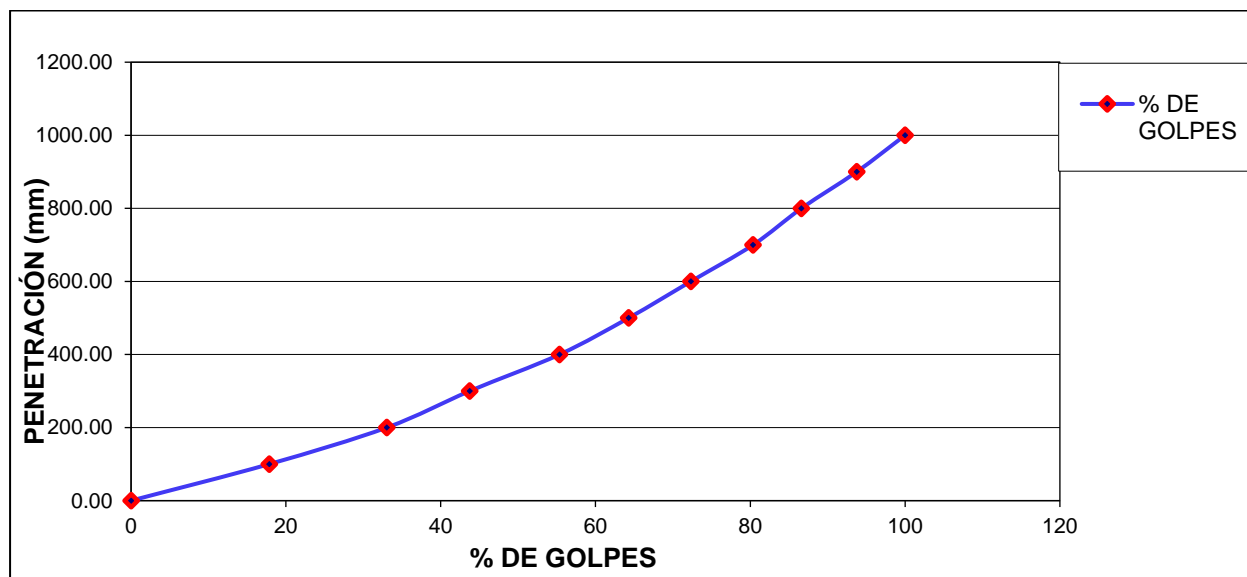
**Figura 79.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-5, M-1.

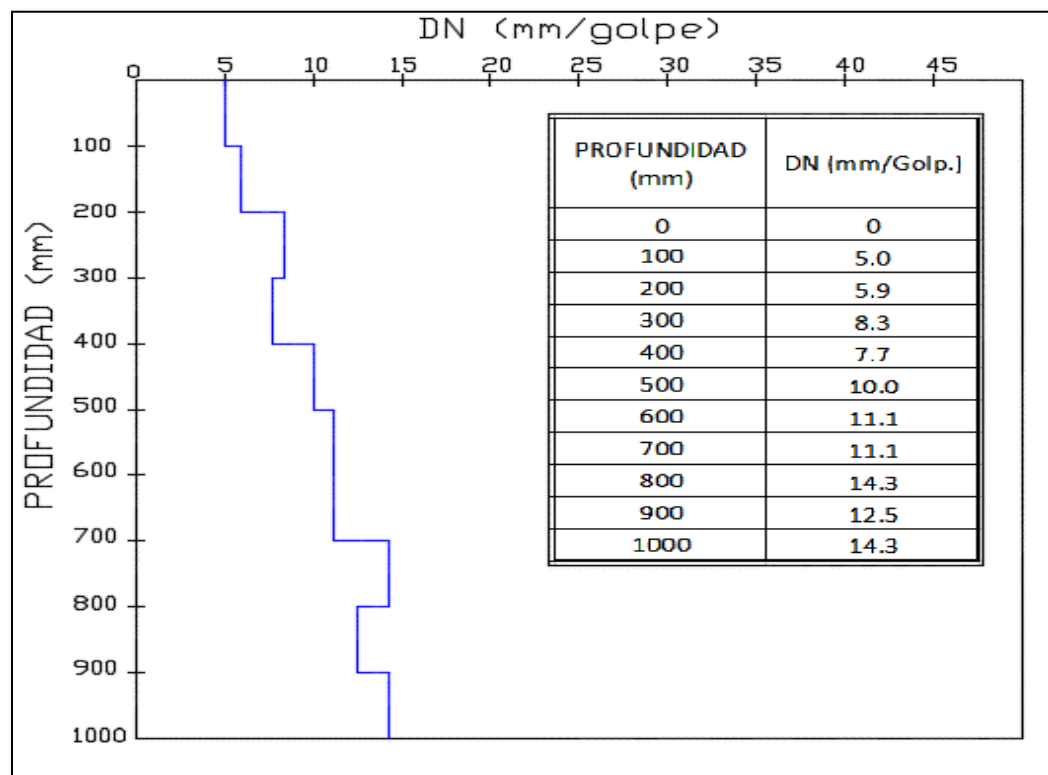


Tabla 93.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-6, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	17,00	17	15	5,88	40,13
200	16,00	33	29	6,25	37,50
300	13,00	46	41	7,69	29,72
400	15,00	61,00	54	6,67	34,88
500	10,00	71	63	10,00	22,15
600	14,00	85,00	76	7,14	32,29
700	8,00	93	83	12,50	17,25
800	6,00	99	88	16,67	12,50
900	6,00	105	94	16,67	12,50
1000	7,00	112	100	14,29	14,86
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			13,20	

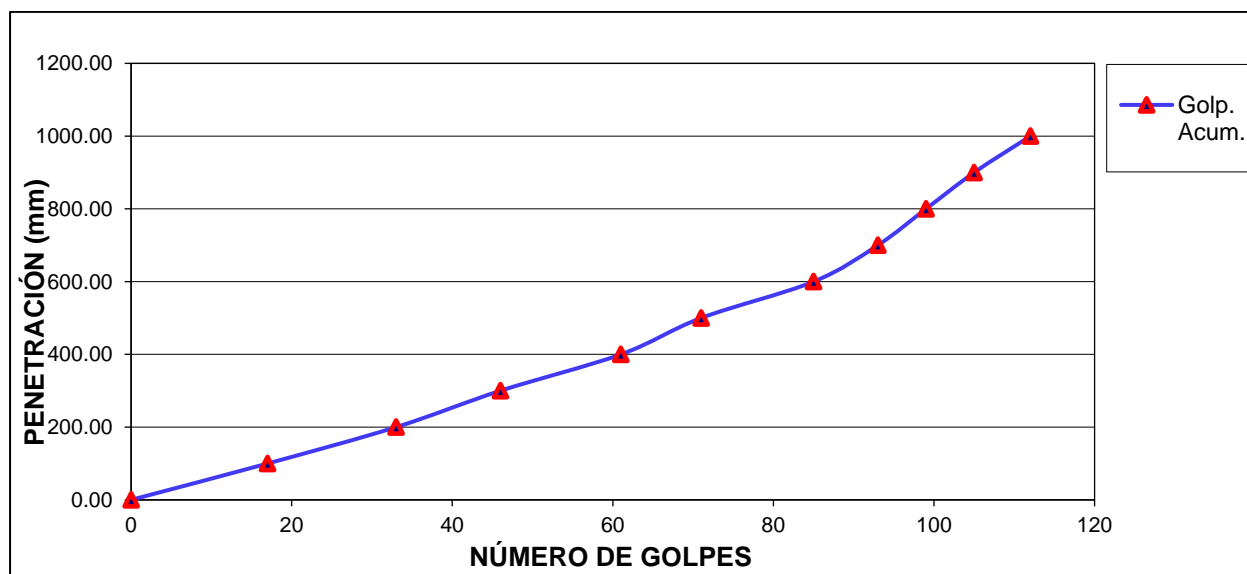
Figura 80.*Curva PDC, Calicata C-6, M-1.*

Figura 81.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-6, M-1.

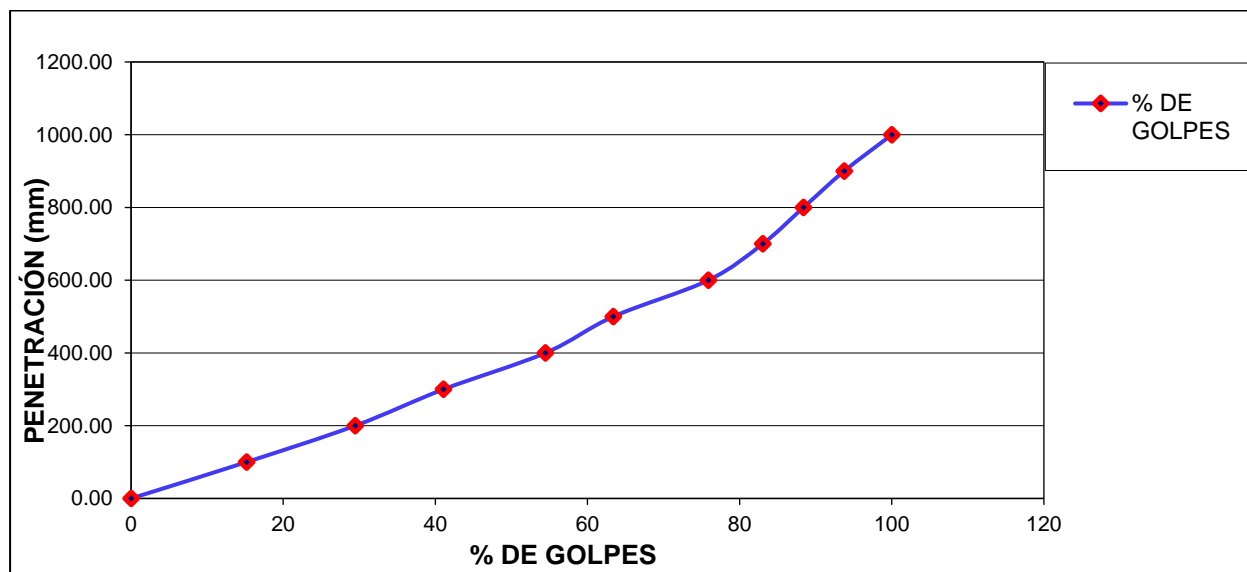
**Figura 82.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-6, M-1.

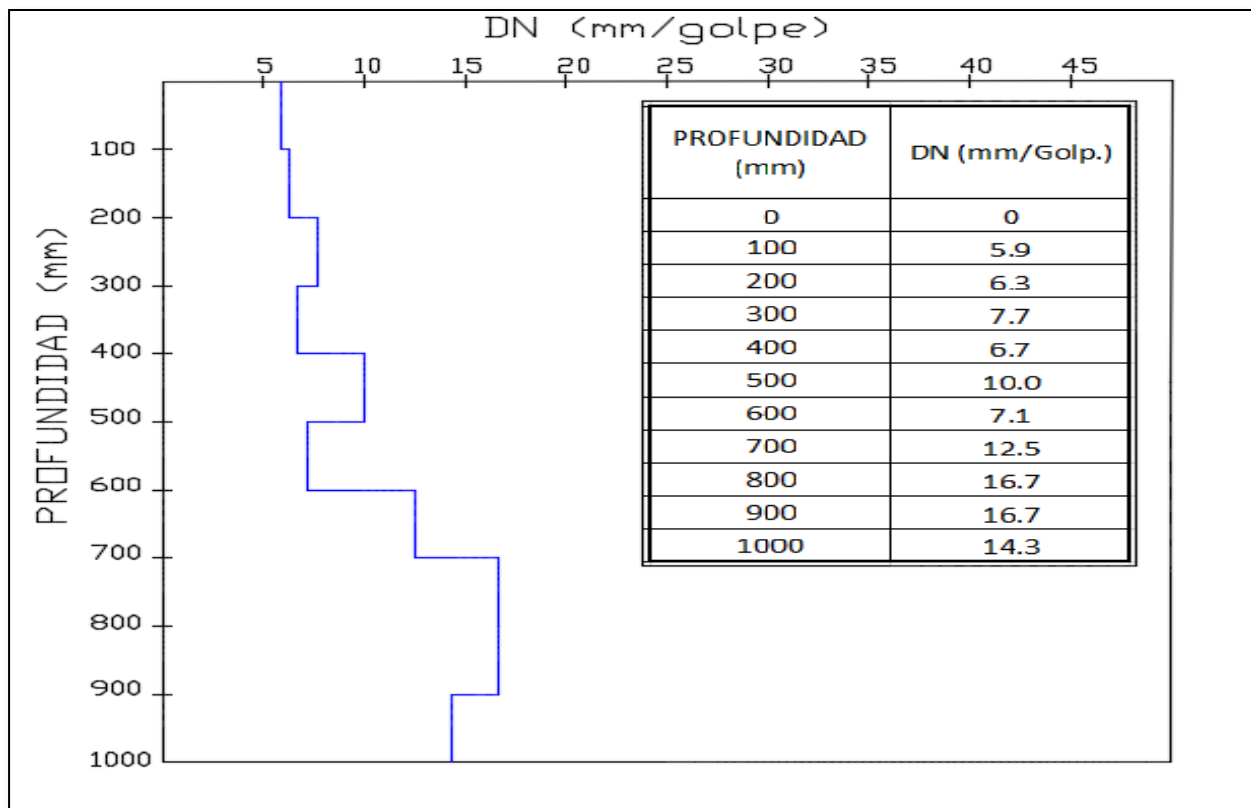


Tabla 94.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-7, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	18,00	18	16	5,56	42,78
200	18,00	36	33	5,56	42,78
300	11,00	47	43	9,09	24,65
400	10,00	57	52	10,00	22,15
500	10,00	67	61	10,00	22,15
600	9,00	76	69	11,11	19,68
700	9,00	85	77	11,11	19,68
800	9,00	94	85	11,11	19,68
900	7,00	101	92	14,29	14,86
1000	9,00	110	100	11,11	19,68
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			17,78	

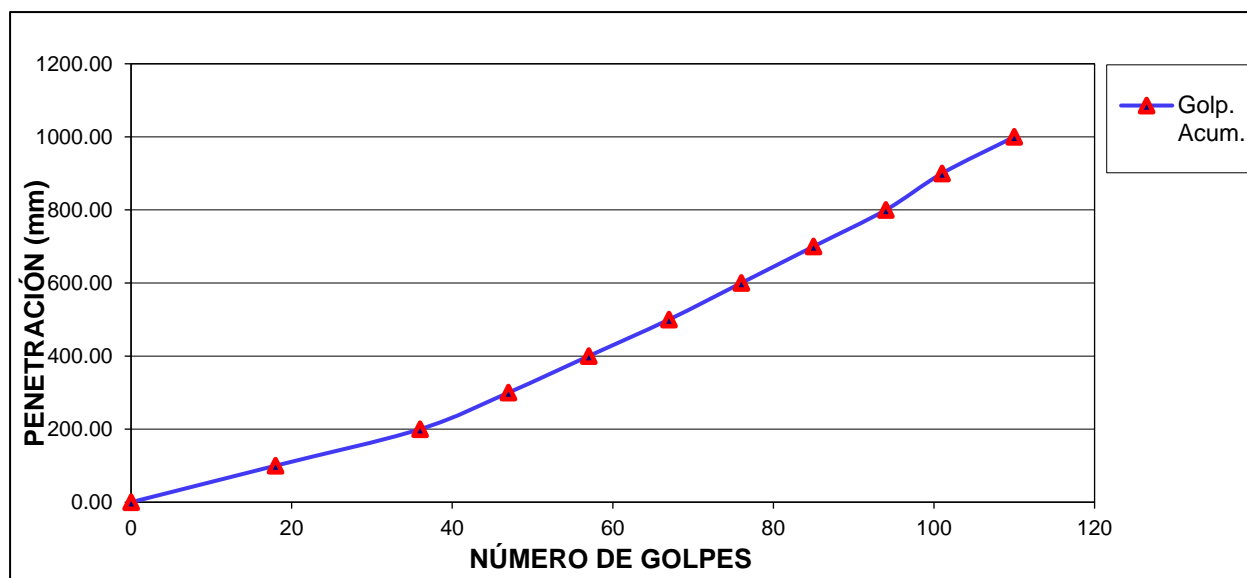
Figura 83.*Curva PDC, Calicata C-7, M-1.*

Figura 85.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-7, M-1.

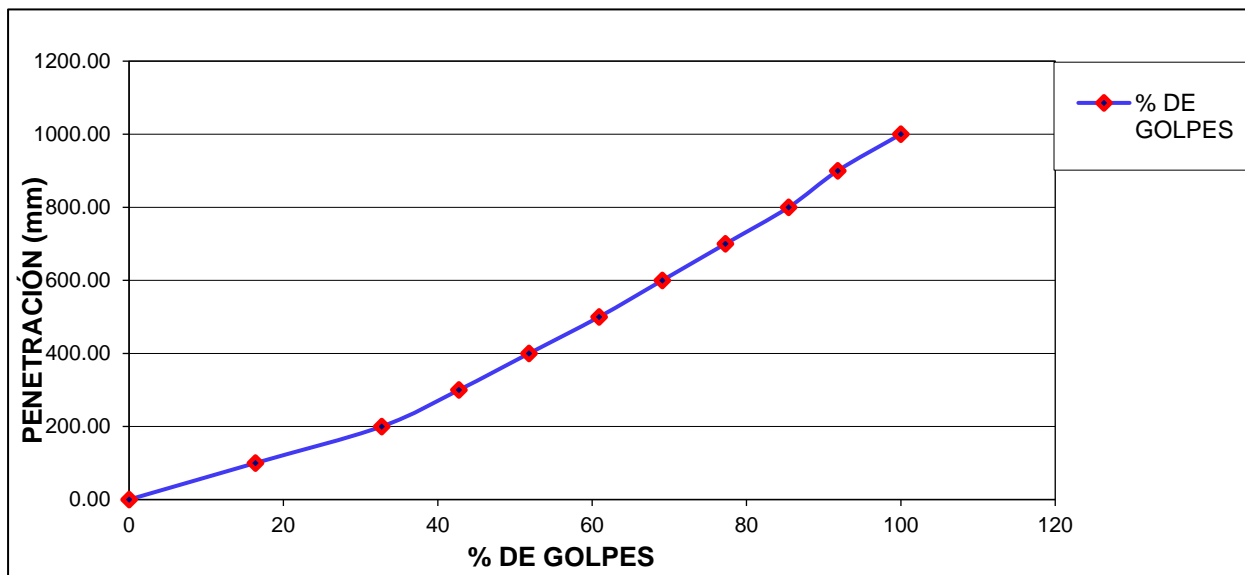
**Figura 84.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-7, M-1.

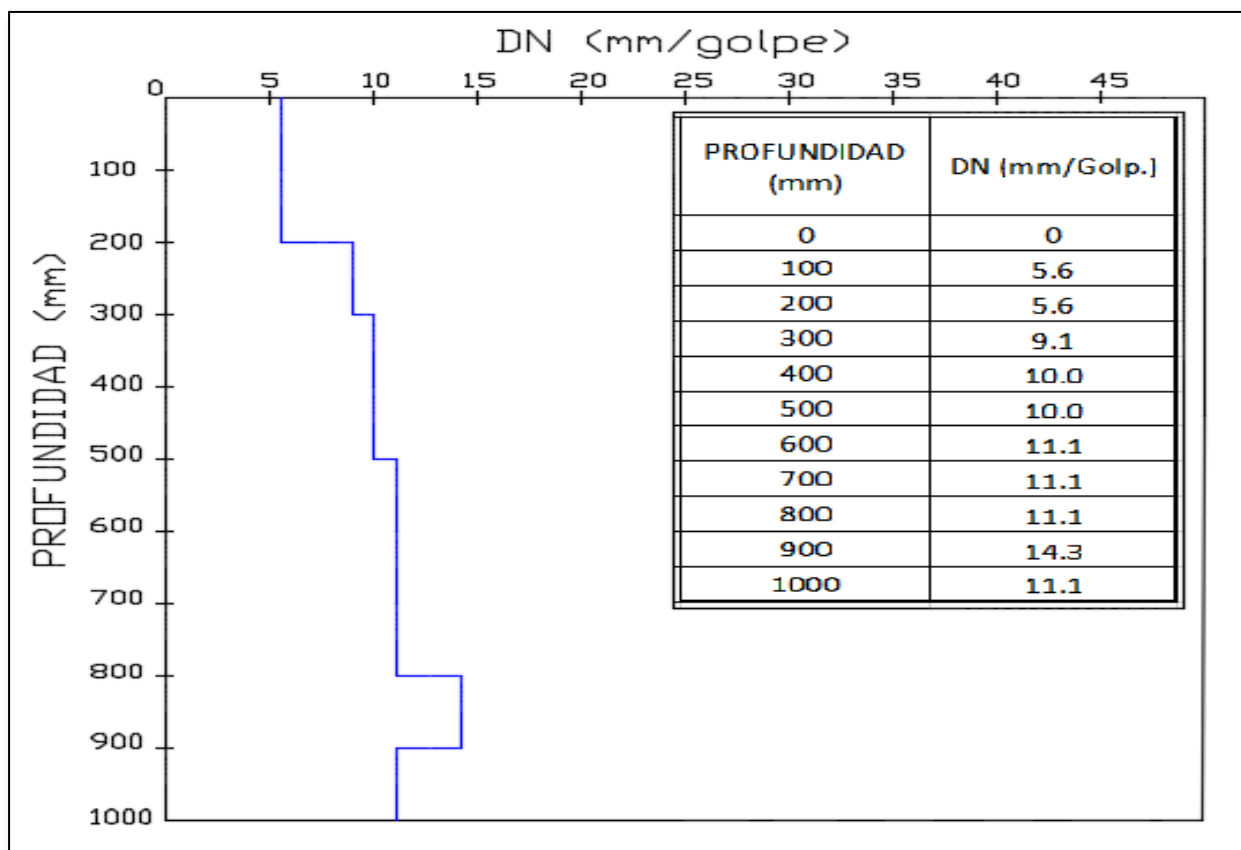


Tabla 95.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-8, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	Nº DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	21,00	21	19	4,76	50,85
200	19,00	40,00	35	5,26	45,46
300	14,00	54,00	48	7,14	32,29
400	13,00	67,00	59	7,69	29,72
500	13,00	80,00	71	7,69	29,72
600	12,00	92,00	81	8,33	27,17
700	7,00	99,00	88	14,29	14,86
800	5,00	104,00	92	20,00	10,19
900	4,00	108,00	96	25,00	7,94
1000	5,00	113,00	100	20,00	10,19
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			9,32	

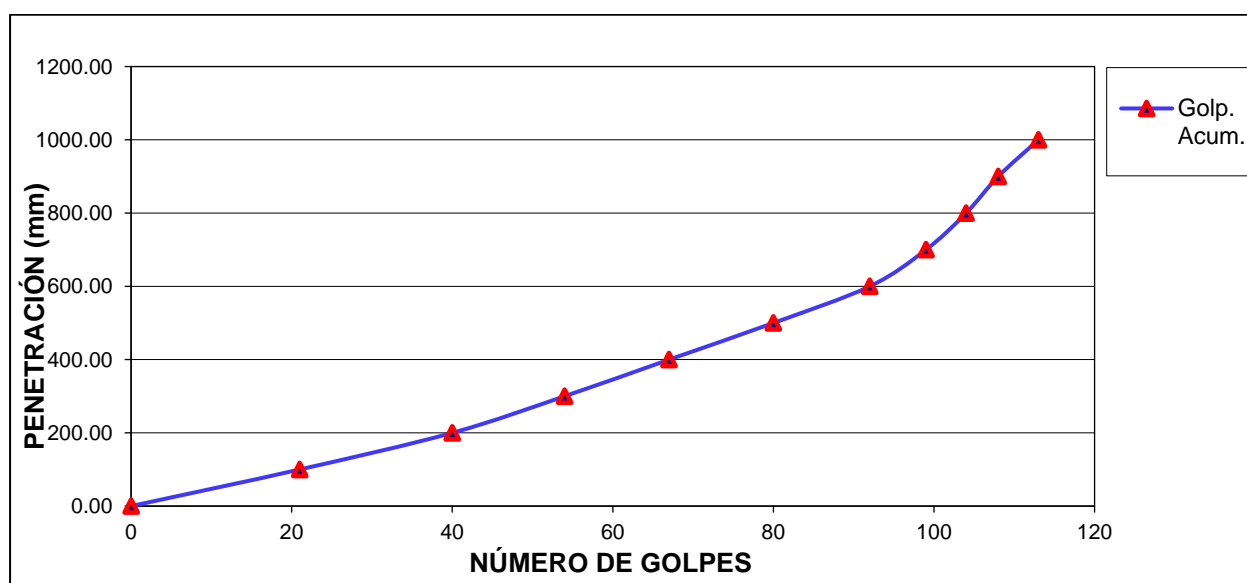
Figura 86.*Curva PDC, Calicata C-8, M-1.*

Figura 87.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-8, M-1.

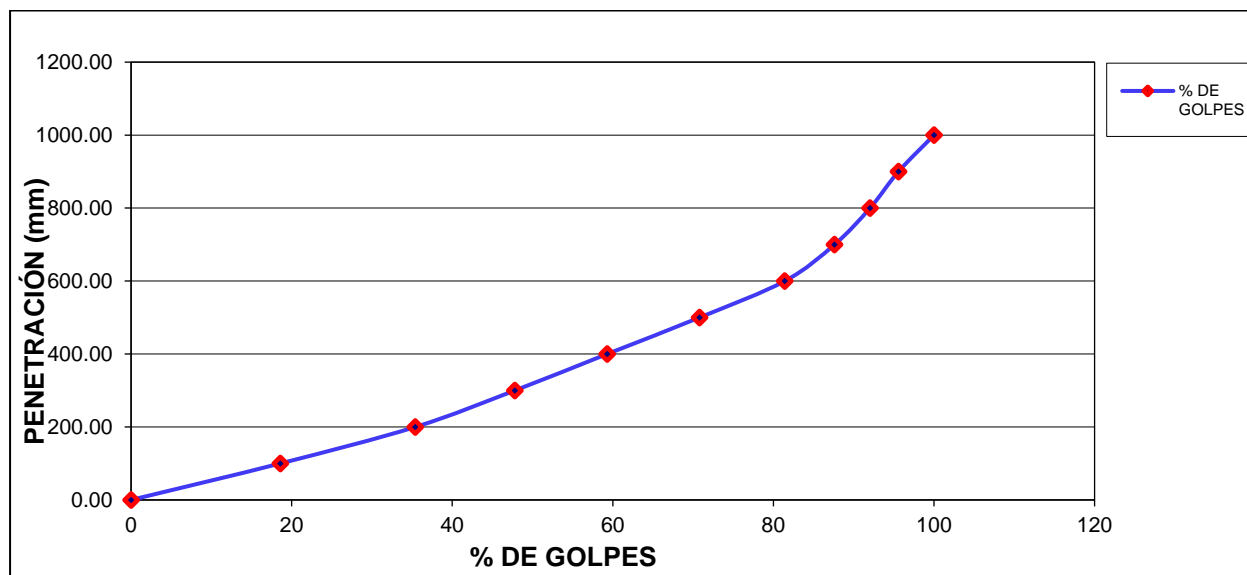
**Figura 88.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-8, M-1.

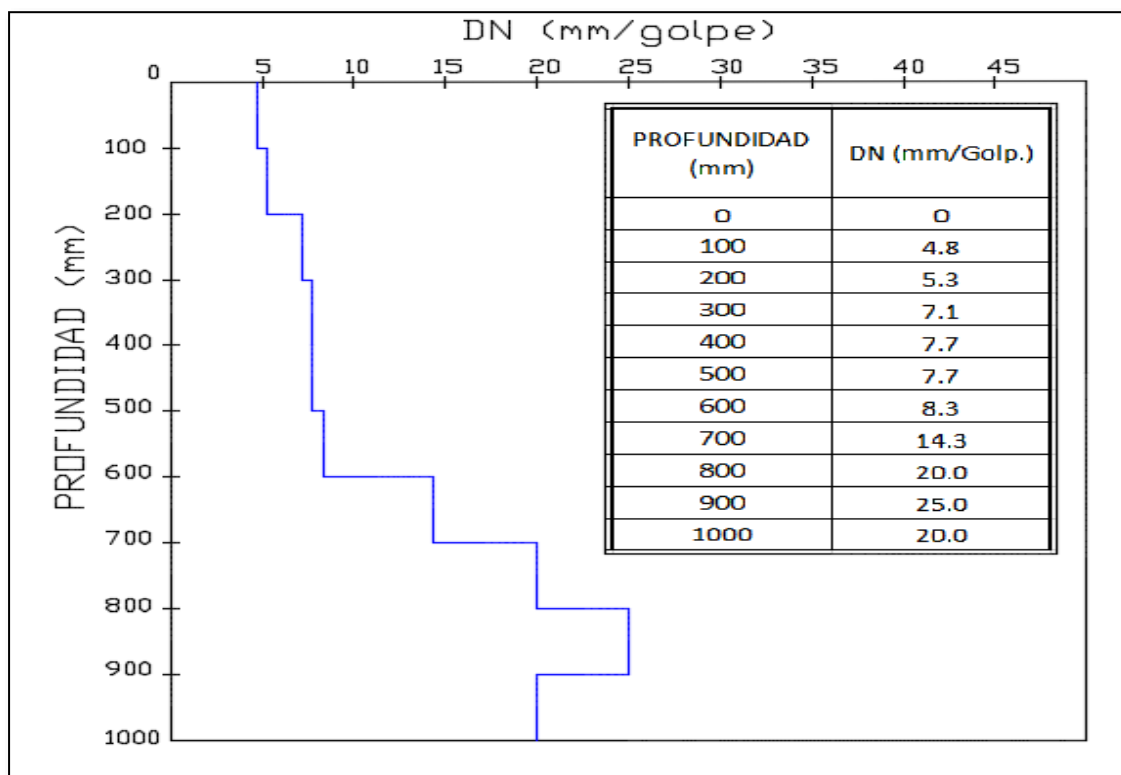


Tabla 96.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-9, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	31,00	31	16	3,23	78,65
200	30,00	61,00	32	3,33	75,82
300	27,00	88,00	47	3,70	67,38
400	20,00	108,00	57	5,00	48,14
500	18,00	126,00	67	5,56	42,78
600	18,00	144,00	77	5,56	42,78
700	17,00	161,00	86	5,88	40,13
800	8,00	169,00	90	12,50	17,25
900	10,00	179,00	95	10,00	22,15
1000	9,00	188,00	100	11,11	19,68
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			9,32	

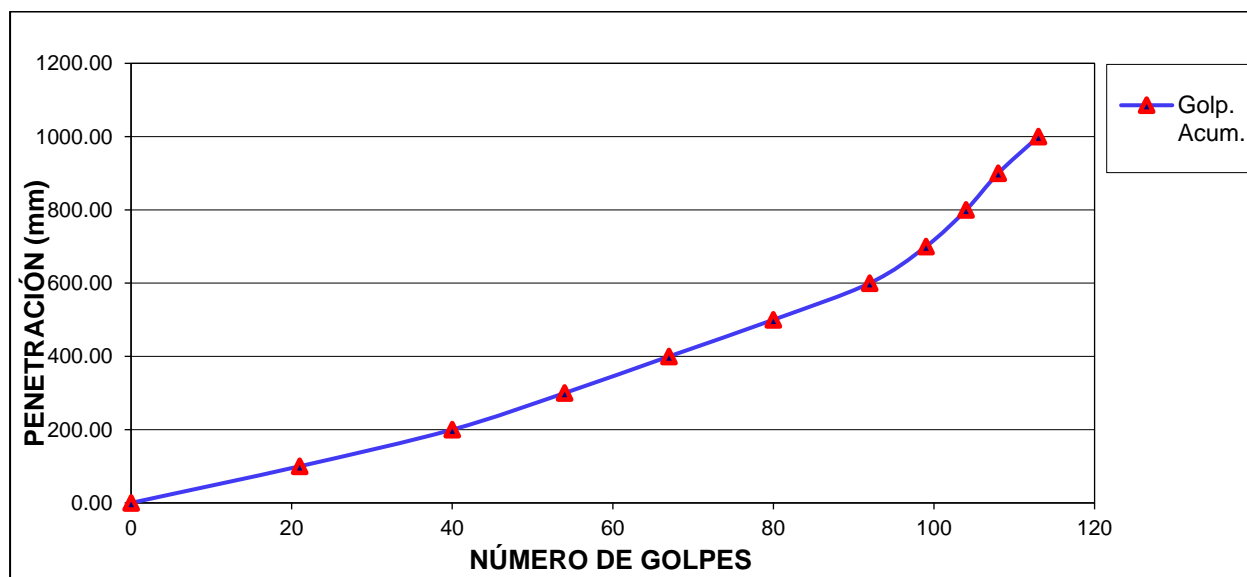
Figura 89.*Curva PDC, Calicata C-9, M-1.*

Figura 90.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-9, M-1.

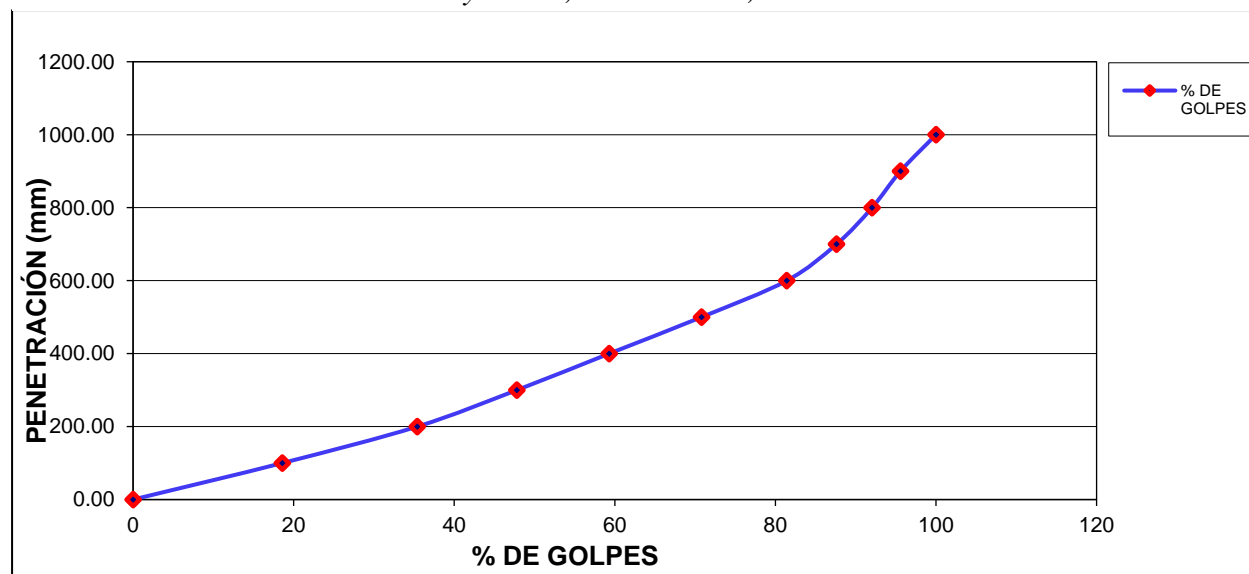
**Figura 91.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-9, M-1.

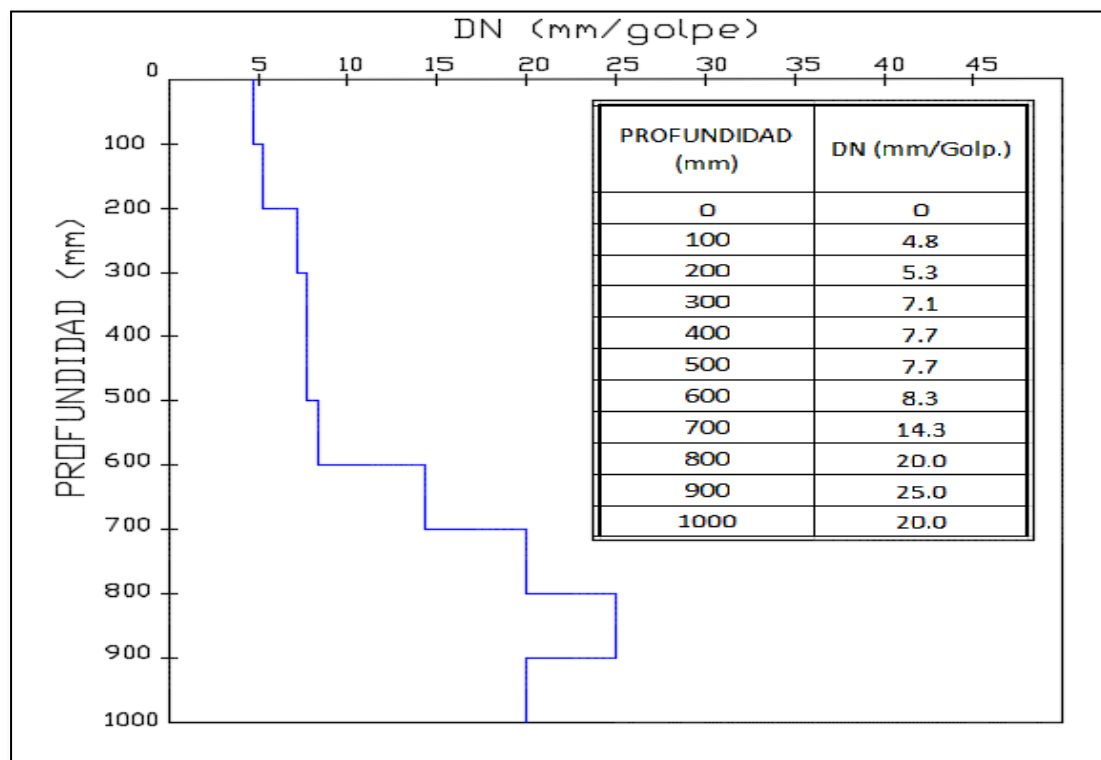


Tabla 97.*Resultados de ensayo PDC, Calicata C-10, M-1.*

FECHA DE ENSAYO: 06/11/2018					
PROFUNDIDAD (mm)	N° DE GOLPES	GOLPES ACUMULADOS	% BALANCE ESTRUCTURAL	INDICE PDC (mm/Golp)	CBR (%)
0	0,0	0	0	0,00	0,00
100	35,00	35,00	18	2,86	90,10
200	34,00	69,00	36	2,94	87,22
300	32,00	101	53	3,13	81,50
400	17,00	118	61	5,88	40,13
500	18,00	136	71	5,56	42,78
600	17,00	153	80	5,88	40,13
700	14,00	167	87	7,14	32,29
800	9,00	176	92	11,11	19,68
900	8,00	184	96	12,50	17,25
1000	8,00	192	100	12,50	17,25
ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA			VALOR OBTENIDO (%)	
CBR= 292/(PDC) ^{1,12}	ASTM D 6951 M - 09			18,00	

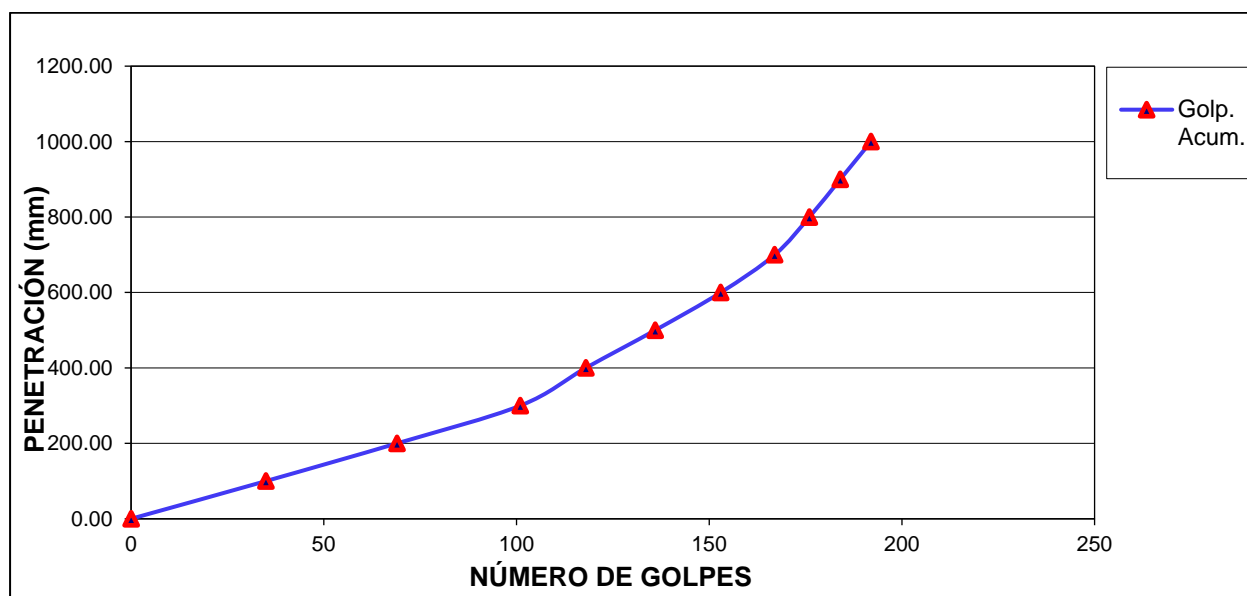
Figura 92.*Curva PDC, Calicata C-10, M-1.*

Figura 93.

Curva de Balance Estructural ensayo PDC, Calicata C-10, M-1.

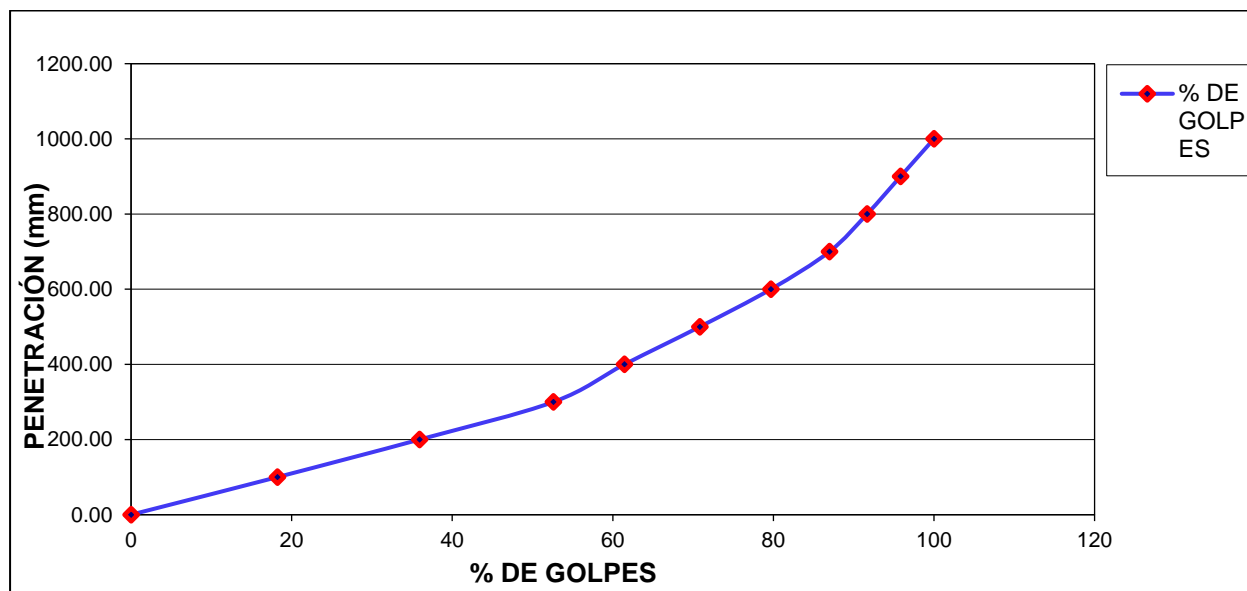
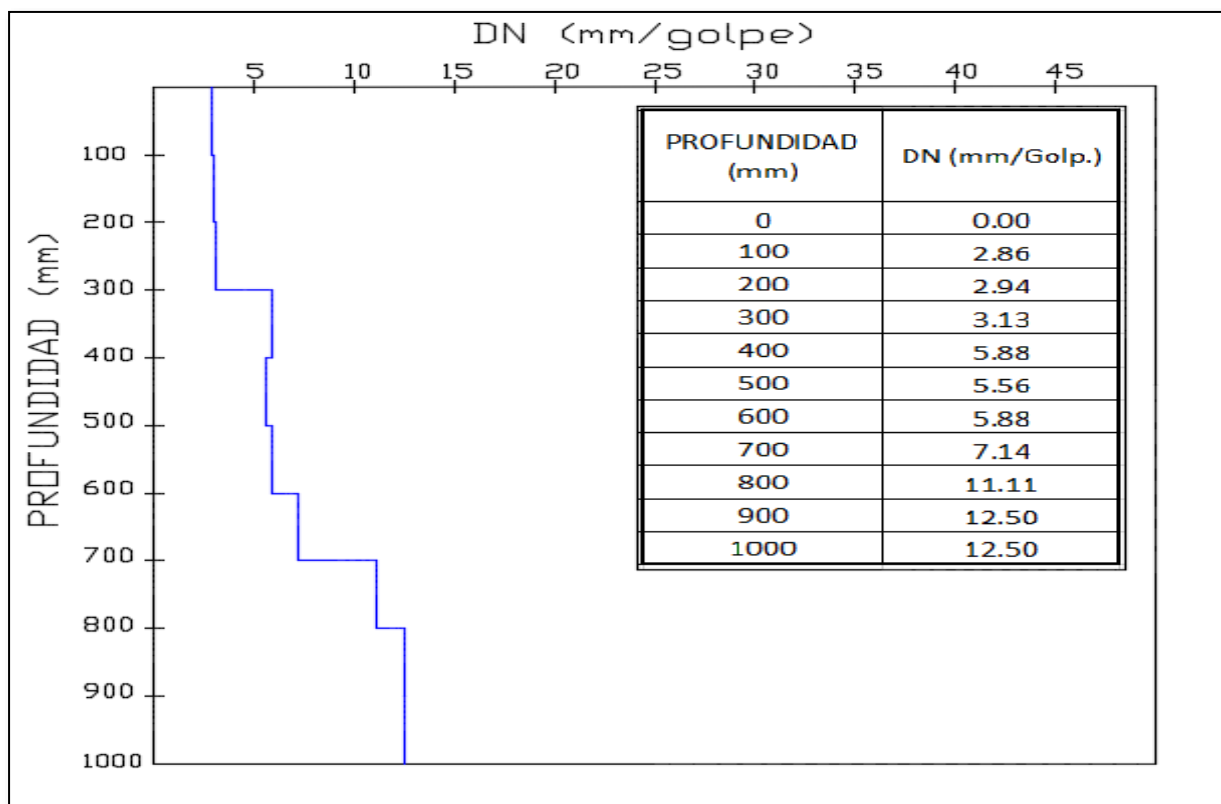
**Figura 94.**

Diagrama Estructural ensayo PDC, Calicata C-10, M-1.



APÉNDICE G
CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

Medidas de distribución (Datos Agrupados)

A. Cálculo del coeficiente de asimetría de Fisher

$$g1 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^3 xni}{\left[\frac{1}{10} \sum (X_i - \bar{X})^2 xni \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$g1 = \frac{\frac{1}{10} (892,84)}{\left(\frac{1}{10} x340,48 \right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$g1 = 0,45$$

B. Cálculo del coeficiente de Curtosis

$$g2 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4 xni}{\frac{1}{n} \sum [(X_i - \bar{X})^2 xni]^2} - 3$$

$$g2 = \frac{\frac{1}{10} (13671,49)}{\left(\frac{1}{10} x340,48 \right)^2} - 3$$

$$g2 = -0,32$$

Prueba Estadística T de Student

Se tiene los siguientes datos a evaluar:

PARAMETROS	CBR IN SITU (%) - PDC	CBR DE LABORATORIO
Desviación estándar (σ)	4,80 %	2,76 %
Media (\bar{x})	12,696 %	8,982 %
N	10,00	10,00

Planteamiento de Hipótesis

A continuación, procedemos a identificar hipótesis nula y alternativa

Sea:

H_0 : No existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en campo (PDC) y los resultados obtenidos en laboratorio

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

H_A : Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en campo (PDC) y los resultados obtenidos en laboratorio

$$H_A: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Identificación del valor crítico para la distribución (Nivel de Significancia)

El nivel de significación: 5%

Nivel de Confianza: 95%

Determinar los grados de libertad:

$$\text{Grados de Libertad} = V$$

$$V = N_1 + N_2 - 2$$

$$V = 10 + 10 - 2$$

$$V = 18$$

Encontramos el valor del estadístico de Prueba

Error estándar de diferencia entre medias estimado de muestras

$$SED = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}$$

$$SED = \sqrt{\frac{4,80^2}{10} + \frac{2,76^2}{10}}$$

$$SED = 1,75$$

Cálculo del valor de T

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{SED}$$

$$T = \frac{12,696 - 8,982}{1,75}$$

$$T = 2,122$$

Decisión estadística

Parámetro	Grados de libertad	T Calculado	T tabular al 0,05 (5 %)
Estadístico de prueba	18	2,122	1,7341

Según los resultados de la prueba de la T- Student, se rechaza la hipótesis nula, dado que el valor del T calculado (2,122) es menor que el T tabular (1,7341) a un nivel de significancia del 5%.

ANEXOS

ANEXO 01: Número mínimo de puntos de investigación de acuerdo con el tipo de vía**Tabla 98.***Número mínimo de puntos de investigación de acuerdo con el tipo de vía*

Tipo de vía	Número de puntos de investigación	Área (m2)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Fuente: norma técnica CE. 010

ANEXO 02: Ecuación de correlación para obtener el CBR con la utilización del PDC.**Tabla 99.***Ecuación de correlación para obtener el CBR con la utilización del PDC*

ECUACIÓN	NORMA TÉCNICA
$CBR (\%) = \frac{292}{PDC^{1,12}}$	ASTM D 6951M - 09

Fuente: ASTM D 6951

ANEXO 03: Clasificación de suelos según la AASTHO.

Tabla 100.

Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO (Adaptado de Braja M., 2012)

DIVISIÓN GENERAL		MATERIALES GRANULARES (Pasa menos de 35% por el tamiz ASTM # 200)						MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Pasa más de 35% por el tamiz ASTM # 200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	N° 10	≤ 50											
	N° 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51									
	N° 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite Líquido					≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Índice de Plasticidad		≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
												< LL-30	> LL-30
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 30		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena			Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos Arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

ANEXO 04: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Tabla 101.

Gráfica de la Unified Soil Classification (Según la ASTM D 2487-98) (Suelos de grano grueso) (Adaptado de Braja M., 2012).

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRE TÍPICO	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS (más de la mitad del material retenido en la malla n°200)	GRAVA (más de la mitad de la fracción gruesa retenido en la malla N°4)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD cu : mayor de 4, COEFICIENTE DE CURVATURA cc : entre 1 y 3, $cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad cc = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$		
			Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos			
		GM*	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P, MENOR QUE 4,	Arriba de la "línea A" y con entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles,
			u			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P, MAYOR QUE 7,	
		ARENA (más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4)	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos,	$cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 6 \quad cc = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} ; 1 \leq cc \leq 3$	
	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos,					
	SM*		d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo,	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P, MENOR QUE 4,	ARRIBA DE LA "LÍNEA A" Y CON I.P, ENTRE 4 Y 7 SON CASOS DE FRONTERA QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES,
			u			
	SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla,		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P, MAYOR QUE 7,	
					NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW,	

LA GRAVA Y ARENA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) SE CLASIFICAN COMO SIGUE:
 Menos del 5%:GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC, Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **

**** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA:** los suelos que posean las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos; por ejemplo, GW-GC, mezcla de arena y grava bien graduadas con cementante arcilloso.

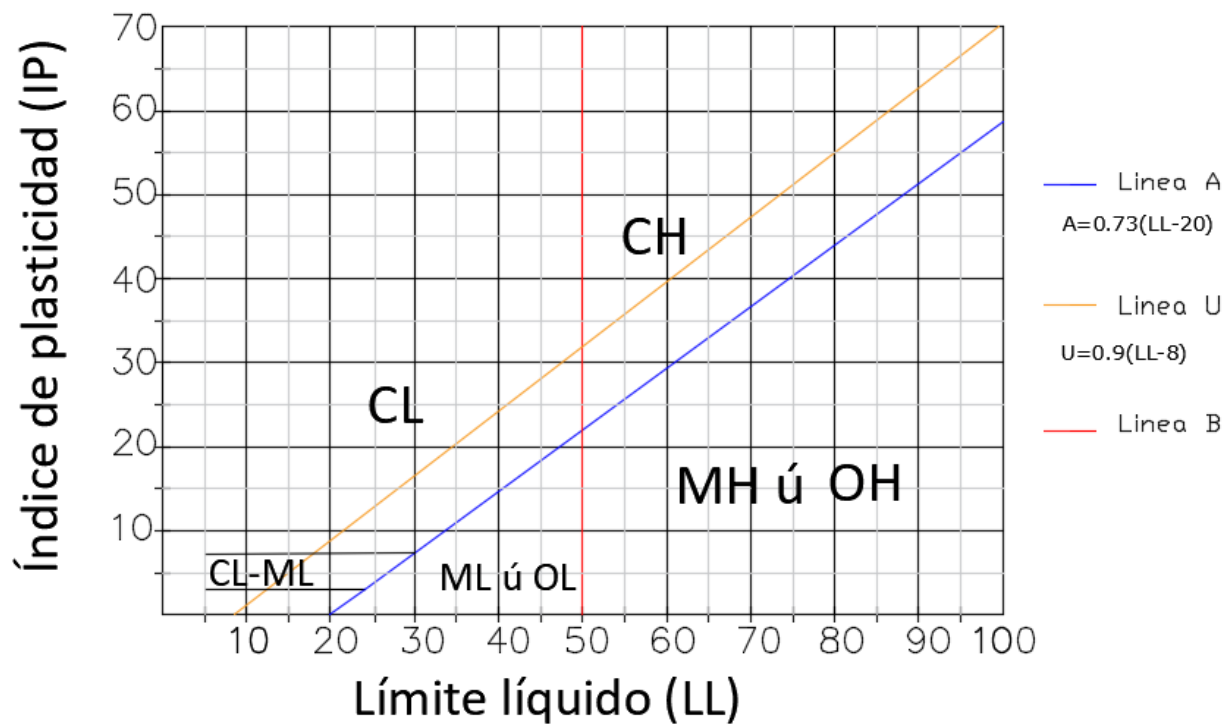
Tabla 102.

Gráfica de la Unified Soil Classification (Según la ASTM D 2487-98) (Suelos de grano fino) (Adaptado de Braja M., 2012).

DIVISIÓN MAYOR		SIMBOLO	NOMBRE TÍPICO	CRITERIO DE CLACIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Más de la mitad del material pasa por la malla N°200)	LIMOS Y ARCILLAS (Límite líquido menor de 50)	ML	Limo inorgánico, polvo de roca, limos arenosos ligeramente plásticos	<div style="text-align: center;"> CARTA DE PLASTICIDAD </div>

NOTA: La simbología utilizada se detalla a continuación, G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W

– Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad

Tabla 103*Carta de Plasticidad (Adaptado de Braja M. 2012)*

ANEXO 05: Métodos de ensayo Proctor modificado.

Tabla 104.

Métodos de ensayo – Proctor Modificado.

METODO	A	B	C
Condiciones para elección del método	% rete acum, N° 4 \leq 20%	% rete acum, N° 3/8" \leq 20% y % rete acum, N° 4 $>$ 20%	% rete acum, N° 3/4" \leq 30% y % rete acum, N° 3/8" $>$ 20%
Tipo de material utilizado.	Pasante la malla N° 4	Pasante la malla 3/8"	Pasante la malla 3/4"
Numero de capas, (n)	5	5	5
Número de golpes, (N)	25	25	56
Diámetro del molde (cm)	10,16 \pm 0,04	10,16 \pm 0,04	15,24 \pm 0,07
Altura del molde (cm)	11,64 \pm 0,05	11,64 \pm 0,05	11,64 \pm 0,05
Volumen del molde, (V) (cm ³)	944 \pm 14	944 \pm 14	2124 \pm 25
Peso del martillo, (W) (Kg)	4,54 \pm 0,01	4,54 \pm 0,01	4,54 \pm 0,01
Altura de caída del martillo (h) (cm)	45,72 \pm 0,16	45,72 \pm 0,16	45,72 \pm 0,16
Diámetro del martillo	5,080 \pm 0,025	5,080 \pm 0,025	5,080 \pm 0,025
Energía específica de compactación (kg, cm/cm ³)	27,485	27,485	27,363

Fuente: A.A.S.H.T.H.O. T 180, ASTM D 1557

ANEXO 06: Ilustración del desarrollo de la tesis.**Figura 95.***Vista de ensayo de Penetración Dinámica de Cono***Figura 96.***Vista de ensayo de Penetración Dinámica de Cono*

Figura 97.

Vista ensayo de densidad de campo

**Figura 98.**

Vista de ensayo de densidad de campo



Figura 99.

Vista de extracción de muestras de suelo de calicatas.

**Figura 100.**

Vista de extracción de muestras de suelo de calicatas.



Figura 101.

Vista de reducción de muestra por el método de cuarteo

**Figura 102.**

Vista de ensayo de análisis granulométrico por tamizado



Figura 103.

Vista de ensayo Proctor Modificado

**Figura 104.**

Vista de compactación CBR



Figura 106.

Vista de saturación de muestra y ensayo de hinchamiento.

**Figura 105.**

Vista de saturación de muestra y ensayo de hinchamiento



Figura 107.

Vista de ensayo de carga – penetración CBR

**Figura 108.**

Vista de ensayo de carga – penetración

